

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

VIDA DE PRATELEIRA DE COGUMELOS PARIS EMBALADOS COM SACHÊS  
DE ESFERAS DE ALGINATO DE SÓDIO COM OU SEM CINAMALDEÍDO

Andréia Luíza Schultz  
Engenheira Agrônoma/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos  
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia  
Áreas de Concentração Sistemas de Produção Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil  
Julho de 2022

## CIP - Catalogação na Publicação

Schultz, Andréia Luíza

Vida de prateleira de cogumelos paris embalados com sachês de esferas de alginato de sódio com ou sem cinamaldeído / Andréia Luíza Schultz. -- 2022.

113 f.

Orientador: Renar João Bender.

Coorientadora: Tâmmila Venzke Klug.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Gelificação iônica. 2. Óleo essencial. 3. Qualidade pós-colheita. 4. Cogumelos. I. Bender, Renar João, orient. II. Klug, Tâmmila Venzke, coorient. III. Título.

ANDRÉIA LUÍZA SCHULTZ  
Engenheira Agrônoma- UFRGS

## **DISSERTAÇÃO**

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### **MESTRE EM FITOTECNIA**

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 13.07.2022  
Pela Banca Examinadora

RENAR JOÃO BENDER  
Orientador - PPG Fitotecnia  
UFRGS

SIMONE MUNDSTOCK JAHNKE  
Coordenadora do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia

TÂMMILA VENZKE KLUG  
Coorientadora - Instituto  
Federal Farroupilha

BETHANIA BROCHIER  
Unisinos

LAURI LOURENÇO RADÜNZ  
PPG Fitotecnia/UFRGS

CARLOS ALBERTO BISSANI  
Diretor da Faculdade de  
Agronomia

SUSE BOTELHO DA SILVA  
Unisinos

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à vida...

Agradeço aos meus pais, Ivo e Noeli pelo presente da vida e o início dessa caminhada.

Agradeço ao meu irmão, Rafael e sua esposa Maribel pelo apoio incondicional que manteve minha esperança por dias melhores.

Agradeço meu marido, Henri Afonso Neis Gais pelo companheirismo e compreensão.

Agradeço ao Marcelo e Marcia (pais de meu marido) pela ajuda.

Agradeço minhas amigas de luta, Daniela e Adriana, assim como, agradeço aos amigos de longa data, Deonilce, Marcelo e Fabiana.

Em especial, agradeço a Psicóloga Isabella Rigotti (Psicoterapeuta Especializada em Terapia Sistêmica Familiar) por ter me acompanhado nessa jornada.

Agradeço ao Eng. Agr. Dr. Professor Renar João Bender e Eng. Alim. Dra. Tâmmila Venzke Klug pela orientação.

Agradeço à Maria Lídia por me apresentar o dia a dia do laboratório.

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela infraestrutura.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela Bolsa de Mestrado.

Agradeço a complexidade dos obstáculos dessa jornada.

# VIDA DE PRATELEIRA DE COGUMELOS PARIS EMBALADOS COM SACHÊS DE ALGINATO DE SÓDIO COM OU SEM CINAMALDEÍDO<sup>1</sup>

Autora: Eng. Agr. Andréia Luíza Schultz

Orientador: Eng. Agr. Dr. Professor Renar João Bender

Coorientador: Eng. Alim. Dra. Tâmmila Venzke Klug

## RESUMO

Os cogumelos frescos são perecíveis e sensíveis ao armazenamento em pós-colheita. Métodos térmicos, físicos e químicos são alternativas para prolongar a vida útil desse produto. Aliado aos métodos de conservação, está a possibilidade de incorporação de óleos essenciais. O objetivo deste estudo foi investigar o efeito da utilização de sachês de esferas de alginato de sódio com ou sem cinamaldeído sobre os principais parâmetros de qualidade pós-colheita de cogumelos paris armazenados a  $9\pm 1^\circ\text{C}$ , por 13 dias. Avaliou-se a perda de massa fresca, textura, cor, abertura do chapéu, comprimento e diâmetro do estipe, taxa respiratória, parâmetros físico-químicos, compostos fenólicos totais, bem como parâmetros relacionados à qualidade sensorial e microbiológica. Os cogumelos conservados com os sachês de cinamaldeído, no décimo-terceiro dia, apresentaram os menores valores de redução de massa fresca (2,40%), abertura do chapéu (45,43%) e razão do estipe (1,92). Além disso, valores de textura (5,39N) e luminosidade (80,18) foram superiores ao controle, dessa forma, os cogumelos exibiram a menor variação e intensidade de cor e apresentavam-se menos escurecidos e amarelados. A análise sensorial dos cogumelos conservados com cinamaldeído demonstrou boa qualidade visual e a manutenção do aroma de cogumelo, até o sétimo dia. O tratamento de sachês com cinamaldeído manteve altos os teores de compostos fenólicos totais, no terceiro e sétimo dia, resultado que pode estar relacionado à inibição indireta da enzima polifenoloxidase (PPO). No entanto, este tratamento elevou a taxa respiratória, alterou alguns parâmetros físico-químicos e demonstrou efeito limitado sobre a qualidade microbiológica. Em conclusão, o uso do sachê com cinamaldeído resultaram na manutenção da qualidade do cogumelo paris por até sete dias de armazenamento e, assim, demonstrou seu potencial de utilização na conservação de cogumelos paris frescos.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (113f.) Julho, 2022.

# SHELF-LIFE OF BUTTON MUSHROOMS PACKAGED WITH SODIUM ALGINATE SACHETS WITH OR WITHOUT CINNAMALDEHYDE<sup>1</sup>

Author: Eng. Agr. Andréia Luíza Schultz

Adviser: Eng. Agr. Dr. Professor Renar João Bender

Co-advisor: Eng. Alim. Dra. Tâmmila Venzke Klug

## ABSTRACT

Fresh mushrooms are perishable and sensitive to post-harvest storage. Some alternatives to prolong the shelf life of mushrooms are thermal, physical and chemical conservation methods. Allied to this, the incorporation of essential oils is another possibility. The objective of this study was to investigate the effect of sodium alginate particles sachets with and without cinnamaldehyde on the postharvest quality of button mushrooms for up to 13 days at  $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Mushrooms were evaluated for weight loss, texture, color, percent open caps, stem length and diameter, respiration rate, physical-chemical parameters, total phenolic compounds, as well as parameters related to microbiological and sensory quality. Mushrooms preserved with cinnamaldehyde sachets, on the thirteenth day, showed the smallest weight loss (2,40%), open caps (45,43%), and stem ratio (1,92). Furthermore, the texture (5,39N) and luminosity (80,18) were higher than the control, thus, mushrooms exhibited lower variation of color and showed a color with a lower intensity of darkened and yellowish. The sensory analysis of mushrooms stored with cinnamaldehyde demonstrated good visual quality, and the maintenance of the mushroom's aroma until the seventh day. The treatment with cinnamaldehyde sachets maintained high levels of total phenolic compounds, on the third and seventh day, a result that could be related to indirect inhibition of the enzyme polyphenol oxidase (PPO). However, this treatment increased the respiratory rate, it changed some physical-chemical parameters and it demonstrated limited effect on microbiological quality. In conclusion, the use of sachet with cinnamaldehyde provided the maintenance of button mushroom quality for up to seven days of storage, thus demonstrating its potential for use in the conservation of fresh button mushrooms.

---

<sup>1</sup> Master Dissertation in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (113p.) July, 2022.

## SUMÁRIO

	Página
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Cogumelos.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Produção comercial de cogumelos.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Qualidade dos cogumelos.....</b>	<b>8</b>
2.3.1 <i>Parâmetros de qualidade.....</i>	9
2.3.1.1 Perda de massa fresca.....	9
2.3.1.2 Textura.....	10
2.3.1.3 Cor.....	11
2.3.1.4 Análise sensorial.....	12
2.3.1.5 Abertura do chapéu.....	12
2.3.1.6 Características do estipe.....	13
2.3.1.7 Teor de compostos fenólicos totais.....	13
2.3.1.8 Segurança microbiológica.....	14
2.3.2 <i>Fatores que influenciam a qualidade.....</i>	14
2.3.2.1 Teor de água.....	15
2.3.2.2 Taxa respiratória e parâmetros físico-químicos.....	15
2.3.2.3 Atividade microbiana.....	17
2.3.2.4 Temperatura de armazenamento.....	18
2.3.2.5 Umidade relativa do armazenamento.....	18
2.3.2.6 Danos mecânicos.....	19
<b>2.4 Métodos de conservação.....</b>	<b>20</b>
2.4.1 <i>Resfriamento.....</i>	21
2.4.2 <i>Embalagem de atmosfera modificada.....</i>	22
2.4.3 <i>Revestimentos comestíveis.....</i>	24
2.4.4 <i>Esferas/nanopartículas.....</i>	25
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Obtenção dos sachês de conservação.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Preparação das embalagens de cogumelo paris e armazenamento.....</b>	<b>35</b>

	Página
<b>3.3 Parâmetros de qualidade dos cogumelos paris.....</b>	36
3.3.1 <i>Determinação de perda de massa fresca.....</i>	38
3.3.2 <i>Determinação da textura.....</i>	38
3.3.3 <i>Determinação da cor de superfície do chapéu.....</i>	38
3.3.4 <i>Análise sensorial dos cogumelos.....</i>	40
3.3.5 <i>Determinação da abertura do chapéu.....</i>	41
3.3.6 <i>Determinação do diâmetro e comprimento do estipe..</i>	41
3.3.7 <i>Determinação da taxa respiratória.....</i>	41
3.3.8 <i>Determinação dos parâmetros físico-químicos.....</i>	42
3.3.9 <i>Determinação dos compostos fenólicos totais.....</i>	43
3.3.10 <i>Determinação da qualidade microbiológica.....</i>	44
3.3.11 <i>Análise estatística.....</i>	44
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	46
<b>4.1 Efeito dos sachês sobre a perda de massa fresca.....</b>	46
<b>4.2 Efeito dos sachês sobre a textura.....</b>	49
<b>4.3 Efeito dos sachês sobre a cor de superfície do chapéu.....</b>	52
<b>4.4 Efeito dos sachês sobre a análise sensorial.....</b>	58
<b>4.5 Efeito dos sachês sobre a abertura do chapéu.....</b>	63
<b>4.6 Efeito dos sachês sobre a razão do estipe.....</b>	65
<b>4.7 Efeito dos sachês sobre a taxa respiratória.....</b>	69
<b>4.8 Efeito dos sachês sobre parâmetros físico-químicos.....</b>	73
<b>4.9 Efeito dos sachês sobre os compostos fenólicos totais.....</b>	78
<b>4.10 Efeito dos sachês sobre a qualidade microbiológica.....</b>	83
<b>5 CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	89
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	91
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	92
<b>APÊNDICE A - ESCALA HEDÔNICA DE NOVE PONTOS DOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE VISUAL DOS COGUMELoS PARIS.....</b>	100
<b>APÊNDICE B - RESULTADO NUMÉRICO DOS ATRIBUTOS DE QUALIDADE VISUAL DOS COGUMELoS PARIS.....</b>	101
<b>APÊNDICE C - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PARÂMETROS DE QUALIDADE AVALIADOS EM COGUMELoS PARIS CONSERVADOS SOB REFRIGERAÇÃO COM SACHÊS DE ALGINATO DE SÓDIO (ESFERAS COM E SEM CINAMALDEÍDO).....</b>	102



## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Características das esferas de alginato de sódio com e sem cinamaldeído após as etapas de obtenção.....	33
2. Variação total de cor ( $\Delta E^1$ ) e diferença total de cor ( $\Delta E^2$ ) em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	53
3. Parâmetros de cor avaliados em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	55
4. Taxa respiratória avaliados em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	69
5. Parâmetros físico-químicos avaliados em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	74
6. Teor de fenólicos totais avaliados em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	79

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Ciclo de vida de um cogumelo. Poucas espécies apresentam os estágios imperfeito ou de esclerotinia. Fonte: Adaptado de Stamets (1993).....	5
2. Morfologia de cogumelos <i>A. bisporus</i> em diferentes estágios de maturação. (a) cogumelo maduro; (b) cogumelo imaturo com píleo fechado; (c) cogumelo imaturo fatiado longitudinalmente. Fonte: Adaptado de Zhang, Pu e Sun (2018).....	6
3. Representação do modelo “caixa de ovos”. Os pontos negros representam os átomos de oxigênio envolvidos na complexação com os íons cálcio. Fonte: Braccini e Pérez (2001).....	26
4. Fórmula estrutural das unidades méricas do alginato com distribuição em diferentes sequências. (a) blocos de monômeros MM; (b) blocos de monômeros GG; e (c) blocos de monômeros alternados MG. Fonte: Cacuro <i>et al.</i> , (2019).....	28
5. Fórmula estrutural da quitina (a) e quitosana (b). Fonte: Nakano (2016).....	29
6. Fórmula estrutural do cinamaldeído. Fonte: Garrido (2018).....	29
7. Primeira etapa de obtenção das esferas de alginato de sódio com ou sem cinamaldeído. (a) técnica de gelificação iônica; (b) visual das esferas resultantes da técnica de gelificação iônica.....	32
8. Segunda etapa de obtenção das esferas de alginato de sódio com ou sem cinamaldeído. (a) revestimento das esferas em solução de quitosana; (b) visual das esferas resultantes da imersão em quitosana.....	33
9. Sachê de tecido-não-tecido (TNT) preenchido com esferas de alginato de sódio disposto no fundo da embalagem de poliestireno expandido.....	34
10. Disposição dos cogumelos <i>paris</i> , sobre o sachê, no interior da embalagem de poliestireno expandido. (a) visualização superior; (b) visualização lateral.....	36

	Página
11. Representação esquemática da unidade experimental, das unidades amostrais e o número de réplicas avaliadas nos parâmetros de qualidade.....	37
12. Percentual de redução de massa fresca em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	47
13. Firmeza do chapéu em cogumelo paris armazenado com sachês de conservação.....	50
14. Análise sensorial em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	59
15. Porcentagem de chapéu aberto em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	64
16. Razão entre o comprimento e diâmetro do estipe em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	66
17. Curvas e equações de regressão da taxa respiratória de cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	71
18. Curvas e equações de regressão dos teores de fenólicos totais em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	81
19. Contagem de bactérias psicrotróficas em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	84
20. Contagem de coliformes totais em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.....	85

## 1 INTRODUÇÃO

Os cogumelos são consumidos em todo o mundo, principalmente na Ásia, Europa e na América do Norte (FAO, 2022). No Brasil, observa-se uma tendência de aumento do consumo desse alimento em razão de suas características nutricionais e medicinais (ANPC, 2018). Além disso, os cogumelos apresentam inúmeras possibilidades de consumo, tais como: frescos, cozidos, desidratados, em conserva ou em pó (Gross; Wang; Saltveit, 2016), o que facilita e propicia o seu consumo.

Os cogumelos são estruturas reprodutivas macroscópicas de determinados membros do Reino Fungi e algumas espécies são comestíveis (Esposito; Azevedo, 2010). Os cogumelos frescos são perecíveis e sensíveis ao armazenamento em pós-colheita e são conservados da mesma forma que os demais produtos *in natura* (Singh *et al.*, 2011).

A manutenção da qualidade visual dos cogumelos durante o seu período de conservação tem importante influência na aceitabilidade do consumidor. Os principais parâmetros de qualidade perceptíveis aos consumidores são: a alteração da cor e textura, abertura do chapéu e alongamento do estipe. Outros parâmetros indiretos de qualidade são: perda de massa fresca e parâmetros relacionados à segurança microbiológica (López-Gómez *et al.*, 2021; Nunes; Emond, 2007).

Singh *et al.* (2011) relataram que em países tropicais, os cogumelos *in natura* não devem ser armazenados em condição ambiental por período superior a 24 horas. Assim, se recomenda o emprego dos métodos de conservação para garantir a qualidade e prolongar a vida útil dos cogumelos frescos.

Em razão da vida útil curta dos cogumelos *Agaricus bisporus* frescos, os autores Zhang, Pu e Sun (2018) identificaram três categorias de métodos de conservação, sendo eles, os métodos térmicos (refrigeração e secagem), os métodos físicos (uso de embalagem para propiciar a atmosfera modificada, irradiação e campo elétrico pulsado) e os métodos químicos (lavagem com agentes antimicrobianos, ozônio, água eletrolisada e a aplicação de revestimentos comestíveis). Além disso, os autores descreveram que o ciclo de maturação e fatores intrínsecos e extrínsecos interferem na qualidade dos cogumelos, por exemplo: a atividade de água, a taxa de respiração, a atividade microbiana, os danos mecânicos, além da temperatura e umidade relativa do armazenamento.

Na busca por alternativas à redução da influência dos fatores intrínsecos e extrínsecos sobre a qualidade dos alimentos, estudos têm incorporado óleos essenciais aos métodos de conservação de alimentos, principalmente em alimentos frescos. Assim, os óleos essenciais são fonte de antioxidantes, substâncias antifúngicas e antibacterianas e apresentam alta atividade na fase de vapor. Os óleos essenciais podem induzir reações biológicas nos tecidos, que conseqüentemente, altera os parâmetros bioquímicos, microbianos e físico-químicos de produtos hortícolas (Namiota; Bonikowski, 2021; Sánchez-González *et al.*, 2011b).

A partir destas constatações, observamos que o controle da pré e pós-colheita garantem a qualidade e prolongam a vida útil dos cogumelos frescos, pois eles são perecíveis e sensíveis. Como alternativa ao armazenamento em pós-colheita, utilizou-se um óleo essencial associado ao método térmico de resfriamento. Assim, pelo método de gelificação iônica se encapsulou o cinamaldeído, o principal componente do óleo essencial de canela (Figueiredo *et al.*, 2017). Visando a proteção do ingrediente ativo (cinamaldeído) se utilizou os biopolímeros, alginato de sódio e quitosana. Esses polissacarídeos têm baixo custo, boa estabilidade, baixa toxicidade e são bem adaptáveis a diversos usos e formulações

(Holkem; Codevilla; Menezes, 2015; Nakano, 2016). Desta forma, foram desenvolvidas esferas de alginato de sódio com ou sem cinamaldeído utilizadas para preencher sachês.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito dos sachês de alginato de sódio (esferas com e sem cinamaldeído) sobre os parâmetros perda de massa fresca, alteração da textura e coloração, análise sensorial, abertura do chapéu, alongamento do estipe, taxa respiratória, parâmetros físico-químicos, compostos fenólicos totais e análise microbiológica em cogumelos paris (*Agaricus bisporus* (Lange) Sing.) frescos durante o armazenamento refrigerado ( $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) por 13 dias.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Sucintamente se descrevem as características morfológicas e de composição nutricional de cogumelos, assim como, aspectos da produção mundial e do Brasil. Também são explanados os parâmetros de qualidade dos cogumelos, além dos fatores internos e externos que influenciam a vida útil em pós-colheita. Em seguida, se expõem os principais métodos de conservação dos cogumelos, em adição, menciona-se o armazenamento refrigerado associado aos óleos essenciais.

### **2.1 Cogumelos**

O Reino Fungi é constituído pelos filos Chytridiomycota, Ascomycota, Zygomycota e Basidiomycota (Esposito; Azevedo, 2010). Segundo Deacon (2006), o filo Basidiomycota é composto por cogumelos comestíveis e cogumelos venenosos, além de enorme diversidade de espécies, incluindo patógenos de plantas e alguns patógenos humanos. A característica que define o filo é a estrutura denominada basídio, local onde ocorre a meiose para a produção dos esporos sexuais (basidiósporos).

O corpo de frutificação ou esporocarpo (cogumelo) se desenvolve a partir do encontro e fusão de hifas sexualmente compatíveis. Assim, o corpo de frutificação é constituído de hifas diploides intimamente entrelaçadas (Stamets, 1993). O ciclo de vida de um cogumelo pode ser visualizado na Figura 1. Na maioria das espécies, os corpos de frutificação apresentam a estrutura denominada de himênio, onde se localiza o basídio. As paredes celulares são tipicamente compostas por quitinas e glucanos.

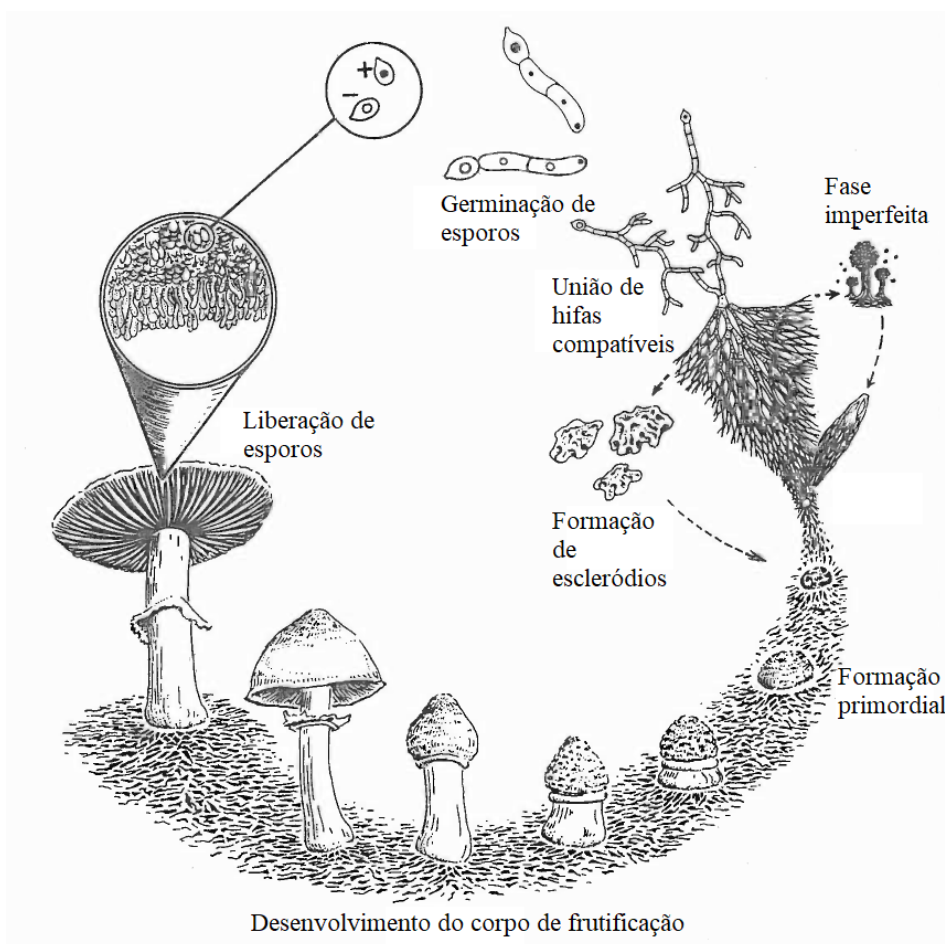


FIGURA 1. Ciclo de vida de um cogumelo. Poucas espécies apresentam os estágios imperfeito ou de esclerotinia. Fonte: Adaptado de Stamets (1993).

No gênero *Agaricus*, o himênio se localiza logo abaixo do píleo, comumente denominado de chapéu (Petersen, 2013). A Figura 2 apresenta e nomeia as estruturas morfológicas de cogumelo *A. bisporus* em diferentes estágios de maturação.

Entre as milhares de espécies descritas, há espécies cujo corpo de frutificação é venenoso, enquanto em muitas outras espécies o corpo de frutificação pode ser consumido. Segundo Diamantopoulou e Philippoussis (2015), no mundo são cultivadas mais de 20 espécies de cogumelos, porém o *Agaricus bisporus* (cogumelo paris, cogumelo crimini ou portobello) é a espécie mais consumida, seguido por *Lentinula edodes* (cogumelo shitake) e *Pleurotus* spp. (cogumelo ostra).

Conforme a espécie e o substrato de crescimento, podem ser observadas diferenças de composição nos cogumelos comestíveis. Em geral, os cogumelos comestíveis apresentam



altos teores de proteínas e carboidratos, baixos teores de gordura e quantidade considerável de fibra alimentar, aminoácidos, vitaminas e minerais.

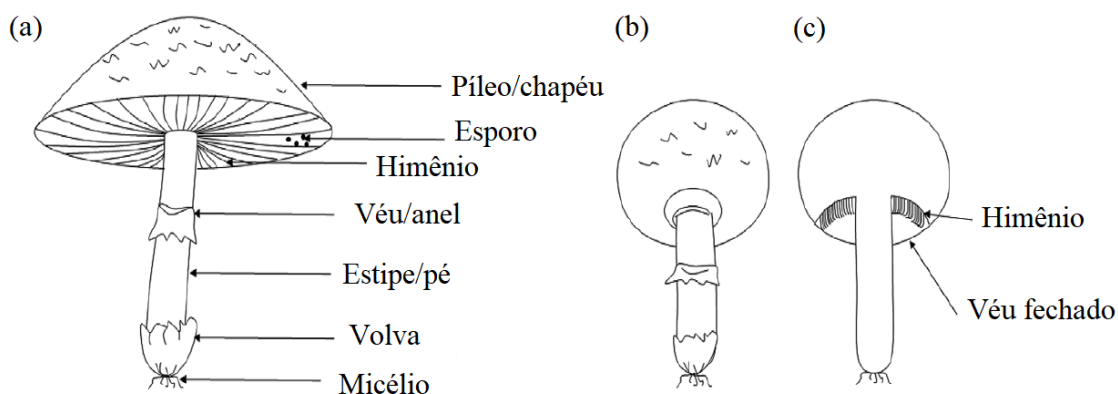


FIGURA 2. Morfologia de cogumelos *A. bisporus* em diferentes estágios de maturação. (a) cogumelo maduro; (b) cogumelo imaturo com pôneo fechado; (c) cogumelo imaturo fatiado longitudinalmente. Fonte: Adaptado de Zhang, Pu e Sun (2018).

Vetter (2019) identificou em *A. bisporus* a porcentagem de proteína bruta, em base seca, entre 14,0 e 36,3%, enquanto para *L. edodes* e o gênero *Pleurotus* spp. os valores variaram entre 4,4% e 23,8%, por serem decompositores de madeira. Além disso, os três gêneros de cogumelos citados apresentaram teores de carboidratos que variam entre 50,9 e 87,0% de matéria seca. Os principais minerais presentes em cogumelos são o potássio, o fósforo, o magnésio e o cálcio e representam aproximadamente 98% do total de minerais em base seca. Os cogumelos também têm em sua constituição micronutrientes como zinco, cobre e manganês, além do ácido ascórbico e vitaminas do complexo B, como o ácido fólico e o ácido nicotínico (Furlani; Godoy, 2005).

Em relação ao teor de compostos fenólicos totais de cogumelos frescos cultivados, Sousa *et al.* (2012) quantificaram teores médios de 7,04, 8,83 e 5,78 mg equivalente em ácido gálico por grama de cogumelo liofilizado para *A. bisporus*, *Pleurotus* spp. e *Lentinula* spp., respectivamente. Os compostos fenólicos atuam na estabilidade oxidativa endógena do tecido através do controle de radicais livres, pró-oxidantes e intermediários

da oxidação (Damodaran; Parkin; Fennema, 2010). Assim, contribuindo para as características nutricionais dos cogumelos.

## **2.2 Produção comercial de cogumelos**

O valor de produção agrícola da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2022), em 2020, demonstrou que o valor bruto da produção mundial de cogumelos e trufas gerou aproximadamente 45 bilhões de dólares. Em retrospectiva, o valor bruto da produção em 1995 era de 3 bilhões e dez anos depois atingiu 26 bilhões de dólares. Em 2015, atingiu 37 bilhões de dólares. Desta forma, existe uma tendência de aumento do valor bruto da produção de cogumelos e trufas ao longo do tempo.

Do total do valor bruto da produção de cogumelos e trufas do mundo (FAO, 2022), 91,26% correspondem à produção da região asiática. A Europa e a América do Norte participam com 4,76 e 3,38%, respectivamente. Enquanto a região da Oceania gera 0,54% e as demais regiões contribuem com 0,06% do valor bruto da produção de cogumelos e trufas.

Segundo a Associação Nacional de Produtores de Cogumelos (ANPC) (2018), na produção mundial de cogumelos, o *A. bisporus* representa 38% da produção, enquanto os cogumelos *Pleurotus* spp. e *L. edodes* correspondem a 25 e 10%, respectivamente. O restante (27%) corresponde a produção de outras espécies de cogumelos e trufas. Os maiores países produtores são China, Estados Unidos, França, Holanda, Reino Unido e Polônia. As principais formas de consumir os cogumelos são frescos em saladas ou como vegetais cozidos ou ainda em conserva (Gross; Wang; Saltveit, 2016).

A produção de cogumelos e trufas no Brasil é pequena em comparação aos maiores países produtores. Segundo Chiavegatti *et al.* (2018), os cogumelos mais consumidos e produzidos no Brasil são o cogumelo paris (*A. bisporus*), o shimeji (*Pleurotus* spp.) e o shitake (*L. edodes*), com produção aproximada de 9 mil, 8,5 mil e 5 mil toneladas anuais,

respectivamente. O Brasil não produz o suficiente para abastecer o mercado interno, já que segundo dados do Sistema de Estatísticas do Comércio Exterior (BRASIL, 2022), em 2019, o país importou aproximadamente 12,6 mil toneladas de cogumelos, sendo que 95,7% do produto era originário da China, o maior produtor mundial de cogumelos.

A ANPC (2018) relata que o brasileiro consumia em média 30 gramas de cogumelos por ano, em 1996. Porém, atualmente, o consumo é de aproximadamente 160 gramas por pessoa/ano. Essa quantidade é baixa quando comparada com o consumo de cogumelos *per capita* anual de asiáticos e de europeus, que é de aproximadamente 8 e 2 quilogramas, respectivamente. No Brasil, o incremento no consumo anual de cogumelos comestíveis possivelmente está relacionado à difusão entre a população dos benefícios nutricionais e medicinais que os cogumelos possuem.

No Brasil, os estados de São Paulo e Paraná são os principais produtores de cogumelos comestíveis. Também, há cultivos em Minas Gerais, Rio de Janeiro, Bahia, Pernambuco, Brasília e no Rio Grande do Sul, porém faltam dados de produção atualizados e informações sobre os métodos de cultivos e de conservação em pós-colheita de cogumelos e trufas no país (ANPC, 2018).

### **2.3 Qualidade dos cogumelos**

Os cogumelos apresentam uma alta perecibilidade, ou seja, a rápida perda dos parâmetros de qualidade que pode reduzir o valor comercial e nutricional, tornando-os não comercializáveis (Singh *et al.*, 2011). Diamantopoulou e Philippoussis (2015) relataram a necessidade de identificar a qualidade do cogumelo através da avaliação de diversos parâmetros, como, a cor, a perda de massa fresca, a transpiração, a taxa de respiração e entre outras. Assim, serão apresentados, sucintamente os parâmetros de qualidade relacionados aos cogumelos frescos, seguido dos principais fatores internos e externos que

influenciam a qualidade. A compreensão da atuação dos fatores sobre os parâmetros de qualidade fornece informações relevantes sobre a preservação de cogumelos.

### 2.3.1 Parâmetros de qualidade

A degradação da qualidade dos cogumelos no período pós-colheita está relacionada as alterações de massa fresca, textura, cor, a perda das características sensoriais e do teor de compostos fenólicos totais (Zhang; Pu; Sun, 2018). Também podemos considerar a abertura do chapéu e as alterações do estipe que são características facilmente observadas pelos consumidores. A segurança microbiológica propicia a prevenção de contaminação do alimento por microrganismos patogênicos e a redução de microrganismos deteriorantes. Informações sobre esses parâmetros de qualidade, importantes em cogumelos paris frescos, estão descritos abaixo.

#### 2.3.1.1 Massa fresca

A perda de massa fresca dos cogumelos afeta a textura dos cogumelos que conseqüentemente altera a aparência visual que é facilmente observada pelos consumidores (Singh *et al.*, 2010). A perda de massa fresca está relacionada aos processos fisiológicos de respiração celular e de transpiração (Mahajan; Oliveira; Macedo, 2008). Os cogumelos apresentam características que favorecem esses processos, como, a alta taxa de respiração e o alto teor de água associado a fina camada epidérmica que não evita as trocas gasosas e de vapor de água, assim como não é eficiente na proteção dos tecidos. A transpiração proporciona a constante liberação de vapor de água pela superfície do cogumelo, resultando em continuada perda de massa fresca.

Os principais fatores ambientais que estão relacionados à diminuição da perda de água por transpiração são a manutenção da alta umidade relativa do ar, baixa temperatura, o movimento reduzido do ar, o aumento da pressão, evitar danos ao produto e o uso de embalagens adequadas durante o armazenamento e transporte (Rahman, 2007). Esses

fatores são preponderantes na rápida perda de massa fresca e na perda de qualidade visual (Diamantopoulou; Philippoussis, 2015), em condições inadequadas de armazenamento.

#### 2.3.1.2 Textura

A textura é um importante parâmetro de qualidade do cogumelo paris. A perda de firmeza decorre do aumento da atividade metabólica e da redução do teor de água dos tecidos (Jiang, 2013; Wang *et al.*, 2021). No estudo de pós-colheita de *A. bisporus*, Zivanovic, Busher e Kim (2000), identificaram alterações de textura relacionadas à redução do teor de água dos tecidos. Esta redução no teor de água ocasiona mudanças estruturais e de composição, como o aumento do espaço intercelular na superfície do píleo, a contração das hifas, ruptura do vacúolo central e a perda de proteínas e polissacarídeos. O extravasamento do citoplasma e colapso celular também podem decorrer da degradação das paredes celulares das hifas por ação de autolisinas endógenas ou enzimas bacterianas.

Wills e Golding (2016) descreveram no processo de amadurecimento das frutas que os carboidratos poliméricos são degradados, ocasionando o enfraquecimento das paredes celulares e das forças coesivas que unem as células, levando a redução da firmeza. Os estudos de Ni *et al.* (2017) e Wang *et al.* (2021) indicaram que mudanças metabólicas semelhantes ocorrem nos cogumelos, pois os autores identificaram diferenças nas concentrações de celulose e quitina no tecido dos cogumelos *L. edodes* e *A. bisporus*, enquanto se observava a redução da firmeza durante o armazenamento

Wang *et al.* (2021) sugeriram mais estudos visando a compreensão da complexa relação entre os componentes da parede celular e as mudanças metabólicas e texturais. Portanto, em armazenagem inadequada a textura se altera rapidamente e determina a redução rápida da vida útil do produto (Jiang, 2013).

### 2.3.1.3 Cor

A aceitação do consumidor e a comercialização dos cogumelos são condicionados pelo escurecimento do tecido. O escurecimento enzimático é um importante evento bioquímico que ocorre após a colheita, processo que envolve várias enzimas, sendo a enzima polifenoloxidase (PPO) a mais importante em *A. bisporus* (Jiang, 2013; Nunes; Emond, 2007; Singh *et al.*, 2010). As enzimas catalisam etapas sequenciais de oxidação dos substratos fenólicos para quinonas e subseqüentes reações levam à biossíntese de melaninas (Jolivet *et al.*, 1998; Lin; Sun, 2019).

Diversos fatores favorecem o processo de escurecimento enzimático no tecido dos cogumelos, entre eles estão as concentrações de enzima PPO, os teores de compostos fenólicos e o acesso da enzima ativa ao substrato. Conforme Jolivet *et al.* (1998), esses fatores variam de tecido para tecido e mudam durante o desenvolvimento do cogumelo e na pós-colheita. Além disso, existe uma distância espacial entre os substratos e a enzima ativa, pois a enzima PPO está localizada intracelularmente ou parcialmente ligada a organelas ou estruturas de membrana. Enquanto os compostos fenólicos estão localizados em organelas, especialmente o vacúolo, no interior das células (Singh *et al.*, 2010).

Nesse sentido, alguns fatores como baixa umidade relativa, danos mecânicos, danos por pragas e toxinas patogênicas provenientes de microrganismo durante a produção e conservação de cogumelos podem induzir a ruptura da membrana intracelular e o encontro entre a enzima ativa e o substrato, favorecendo o escurecimento enzimático dos produtos (Rahman, 2007). Além do mais, a alta temperatura e/ou maior disponibilidade de oxigênio proporcionam a aceleração da oxidação dos substratos e da taxa de respiração, gerando umidade e calor metabólico, elevando a umidade relativa e a temperatura da superfície do cogumelo, que proporciona o aumento do crescimento microbiano e da atividade da enzima PPO (Jolivet *et al.*, 1998; Lin; Sun, 2019).

#### 2.3.1.4 Análise sensorial

Na análise sensorial pode se avaliar a aparência visual geral, a ausência de zonas escuras no chapéu e a intensidade de aroma de cogumelo, quando possível. A aparência visual geral dos cogumelos pode levar em consideração os parâmetros de cor e murchamento do chapéu, sendo estes os atributos de qualidade de maior importância no momento da compra (López-Gómez *et al.*, 2021). Pois a aceitabilidade dos cogumelos pelo consumidor está baseada em características externas e visuais do produto (Diamantopoulou; Philippoussis, 2015).

A interação entre os diferentes tipos de componentes orgânicos voláteis e de componentes não voláteis ativos, e suas concentrações proporcionam doçura e sabor umami (nome dado ao quinto sabor básico) aos cogumelos. Os principais componentes orgânicos voláteis sintetizados no cogumelo paris são: 1-octen-3-ol, 1-octen-3-one, 3-octanone, (E)-2-octenol. Enquanto os componentes não voláteis ativos provém de várias classes de compostos solúveis em água, como os carboidratos, ácidos orgânicos e aminoácidos (Sinha *et al.* 2011).

Alterações físico-químicas relacionadas à senescência dos cogumelos promovem mudanças nos tipos e nas concentrações de compostos orgânicos voláteis (Wills; Golding, 2016) e não voláteis, que pode proporcionar alterações sensoriais do aroma e sabor.

#### 2.3.1.5 Abertura do chapéu

Os estudos de Van Loon *et al.* (1995) correlacionaram a abertura do chapéu com o envelhecimento e a perda de qualidade do cogumelo. Pois a abertura do chapéu do cogumelo possivelmente está relacionada à desidratação dos tecidos. Conforme, Gao, Feng e Jiang (2014), Nasiri *et al.* (2019) e Wang *et al.* (2015), a desidratação do tecido diminui as forças coesivas da água e entre as moléculas hidrofílicas, provocando a ruptura do véu e a abertura do chapéu durante o armazenamento.

### 2.3.1.6 Características do estipe

Na produção de cogumelo paris fresco, os cogumelos são colhidos em estágio imaturo e sem a total expansão da região apical do estipe. Craig, Gull e Wood (1977) estudaram o desenvolvimento do cogumelo *A. bisporus* e a alongação do comprimento do estipe, identificando que a alongação da porção basal do estipe decorre da alongação dessas células, enquanto a expansão da região apical do estipe é o resultado da alongação e divisão das células nessa região. Assim, a porção apical do estipe de cogumelos embalados pode apresentar alongamento durante o armazenamento.

O comprimento do estipe pode ser influenciado pela temperatura, um estudo com cogumelos Enokitake (*Flammulina velutipes*) demonstraram que temperaturas de 10 e 15°C aceleravam a alongação do estipe e a perda de qualidade do cogumelo avaliado em comparação ao cogumelo armazenado a temperatura de 5°C (Kang; Park; Lee, 2001). Entre os diversos artigos conferidos, apenas o artigo de Kang, Park e Lee (2001) avaliou o comprimento do estipe, o que demonstra a necessidade de novos estudos.

### 2.3.1.7 Teor de compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos podem atuar como agentes redutores, sequestrantes de radicais livres, complexantes de metais pró-oxidantes e inibidores da formação de singlete de oxigênio, com o intuito de retardar o início da reação em cadeia ou converter produtos instáveis em estáveis (Hudson, 1990). Desta forma, reduzindo os danos às células e preservando a qualidade do produto.

Barros *et al.* (2007) identificaram que os compostos fenólicos dos cogumelos possivelmente estão envolvidos em mecanismos de defesa inerentes ao processo de envelhecimento, o que resulta na diminuição de seus teores em estágio mais avançado.

Jiang, Feng e Zheng (2012) identificaram a diminuição do teor de fenólicos totais em todos os tratamentos durante o armazenamento, sendo o tratamento controle, o qual



apresentou os menores teores. Assim, os autores propuseram que a menor deterioração dos cogumelos shitake no tratamento de óleo de tomilho decorreu dos maiores teores de compostos fenólicos, flavonóides e capacidades antioxidantes.

#### 2.3.1.8 Segurança microbiológica

Os produtos hortícolas frescos podem abrigar uma grande diversidade microbianas (Rossouw; Korsten, 2016). Os microrganismos presentes nos cogumelos comestíveis frescos são provenientes do substrato de produção e do manuseio do alimento durante o processamento mínimo (Gao; Feng; Jiang, 2014). Os microrganismos patogênicos podem causar Doenças Transmitidas por Alimentos, enquanto microrganismos deteriorantes da qualidade dos cogumelos podem contribuir para a ruptura das paredes das hifas, provocando a perda de resistência do tecido (Zivanovic; Busher; Kim, 2000).

Rossouw e Korsten (2016) estudaram a população microbiana de *A. bisporus* em duas fazendas comerciais e identificaram bactérias não patogênicas, importantes no processo de deterioração da qualidade dos cogumelos. Mas a maioria das bactérias isoladas eram Gram-negativas, incluindo membros da família *Enterobacteriaceae*, porém os isolados encontrados não foram associados à incidência de enteropatógenos. Demonstrando a importância das condições higiênicas-sanitárias da produção.

Devido ao potencial risco microbiológico, recomenda-se seguir os manuais de boas práticas agrícolas durante a produção de cogumelos e as boas práticas de fabricação durante a embalagem ou processamento mínimo, armazenamento e distribuição, com o intuito de reduzir a contaminação do alimento por bactérias patogênicas e deteriorantes.

#### 2.3.2 Fatores que influenciam a qualidade

Zhang, Pu e Sun (2018) classificaram os fatores que influenciam a qualidade dos cogumelos na pós-colheita em dois tipos: os fatores internos (relacionados a atividade de água, taxa respiratória, e atividade microbiológica) e os fatores externos (temperatura,

umidade relativa do ar durante o armazenamento e os danos mecânicos). Abaixo descreve-se sucintamente como esses fatores atuam nos cogumelos.

#### 2.3.2.1 Atividade de água

A atividade de água pode indicar a estabilidade e a segurança microbiana do produto, pois se correlaciona às taxas de crescimento microbiano e às taxas de reações químicas e enzimáticas que levam a degradação do produto (Damodaran; Parkin; Fennema, 2010). A maioria dos alimentos frescos apresentam atividade de água superior de 0,99 (Jay, 2005). Leong, Alvarez-Ordóñez e Jordan (2015) estudaram a atividade de água em *A. bisporus* fresco e obtiveram valores de  $0.996 \pm 0.001$  em cogumelos recém-colhidos e refrigerado. Além disso, os cogumelos são constituídos por alto teor de água (>85%) (Diamantopoulou; Philippoussis, 2015) e apresentam pH neutro, características que favorecem o crescimento microbiano em cogumelos (Zhang; Pu; Sun, 2018).

#### 2.3.2.2 Taxa respiratória e parâmetros físico-químicos

Durante a respiração celular, as moléculas mais complexas (açúcares e ácidos orgânicos) sofrem quebra oxidativa para moléculas mais simples (dióxido de carbono e água), visando ao fornecimento de energia e compostos de carbono aos processos bioquímicos de síntese e fisiológicos das células (Wills; Golding, 2016).

Normalmente, a velocidade da respiração celular indica a intensidade da atividade metabólica, assim, a taxa de deterioração é geralmente proporcional à taxa de respiração do produto (Rahman, 2007). A taxa de respiração varia conforme o produto e seu estágio de maturidade (Singh *et al.*, 2010). Os cogumelos armazenados a 10 e 20°C de temperatura apresentam alta taxa respiratória com valores médios superiores a 40 e 120 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente (Rahman, 2007). Assim, a elevação da temperatura de armazenamento proporciona o aumento da taxa respiratória dos cogumelos.

De qualquer forma, o cogumelo consome sua própria reserva após a colheita para suprir a respiração e os processos morfológicos, como o crescimento do estipe, abertura do chapéu e a produção de esporos. Esta atividade metabólica resulta no esgotamento das reservas e a deterioração da qualidade. Sánchez-González *et al.* (2011a) descreveram a elevação da taxa de respiração dos cogumelos devido ao aumento da atividade metabólica, que pode estar relacionada à senescência tecidual e o colapso celular.

A acidez total titulável (ATT) fornece informações sobre os ácidos orgânicos presentes nas células, sendo que são considerados fontes de energia reserva para a respiração ou convertidos em açúcares para suprir a elevada atividade metabólica que ocorre durante o amadurecimento (Wills; Golding, 2016). O consumo gradativo da acidez total titulável usualmente está relacionado à taxa respiratória e aos processos metabólicos do amadurecimento do cogumelo (Wang *et al.*, 2021) ou a translocação de energia para outras vias metabólicas (Rai; Arumuganathan, 2008).

Segundo Ajlouni *et al.* (1995), o principal açúcar solúvel em cogumelos é o manitol. Durante o armazenamento, os sólidos solúveis totais (SST) apresentam tendência de redução, como demonstrado em Ajlouni *et al.* (1995) e Wang *et al.* (2021) devido a sua utilização como substrato respiratório. No entanto Wang *et al.* (2021) e Jiang, Feng e Li (2012) também relacionaram o aumento do teor dos sólidos solúveis totais à degradação da parede celular para suprir a demanda celular por carboidratos.

Em relação ao potencial hidrogeniônico (pH), sua alteração pode indicar a modificação dos processos metabólicos. Além disso, após momentos de estresses (colheita) as células demandam alta quantidade de energia que pode ser obtida dos ácidos orgânicos, conseqüentemente alterando o pH (López-Gómez *et al.*, 2021).

### 2.3.2.3 Atividade microbiana

A contaminação de cogumelos por microrganismos patogênicos aos humanos, e deteriorantes da qualidade, provém principalmente do substrato de produção (Gao; Feng; Jiang, 2014; Rossouw; Korsten, 2016). Em relação às bactérias, o gênero *Pseudomonas* é o mais abundante em cogumelos e um dos principais motivos da descoloração na pós-colheita (Jolivet *et al.*, 1998). As manchas bacterianas de coloração amarelas a marrons, levemente afundadas e com aspecto pegajoso brilhante são provocadas por *Pseudomonas tolaasii*, sendo a principal doença de pós-colheita em cogumelos (OECD, 2005).

Os microrganismos podem provocar a ruptura das paredes das hifas provocando danos e a ruptura celular (Zivanovic; Busher; Kim, 2000). Isso facilita a oxidação dos compostos fenólicos e a formação de melaninas de cor marrom (Jiang; Feng; Zheng, 2012; Jolivet *et al.*, 1998) e assim alteram a coloração do cogumelo paris.

A taxa de degradação da qualidade em pós-colheita depende da carga microbiana inicial, das condições de temperatura e umidade relativa que também influenciam o crescimento e a decomposição microbiana (Zhang; Pu; Sun, 2018). Dessa forma, os cogumelos armazenados podem perder rapidamente a qualidade devido ao escurecimento, manchas e deterioração por ação de microrganismos.

No estudo de Rossouw e Korsten (2016) isolados bacterianos em cogumelos recém-colhidos e após o processamento foram identificados e observou-se diferenças na frequência de isolados entre os dois momentos. As espécies do gênero *Pseudomonas* apresentaram 17 a 48% dos isolados logo após a colheita. Todavia, após o processamento se observou o acréscimo desses mesmos isolados para 52 a 83%. Demonstrando o aumento da frequência de bactérias após o processamento mínimo, principalmente do gênero *Pseudomonas*.

A manutenção da segurança do alimento é essencial e deve ser priorizada por meio da utilização das boas práticas agrícolas e de fabricação. O uso desses sistemas de gestão da

qualidade na produção e comercialização de cogumelos propicia a prevenção de contaminação por microrganismos patogênicos e redução de deteriorantes, atuando assim, na prevenção de Doenças Transmitidas por Alimentos e manutenção da qualidade dos produtos, o que contribui para a diminuição do desperdício de alimentos.

#### 2.3.2.4 Temperatura de armazenamento

A temperatura de armazenagem e sua flutuação em pós-colheita influenciam os parâmetros de qualidade dos cogumelos, mas principalmente nas vias metabólicas e reações fisiológicas. As altas temperaturas de armazenamento promovem o aumento da atividade enzimática, por exemplo, da polifenoloxidase (PPO) que promove o escurecimento enzimático (Diamantopoulou; Philippoussis, 2015). Também eleva a taxa respiratória, a transpiração e a atividade metabólica, podendo provocar o esgotamento das reservas, a desnaturação enzimática e a senescência do tecido (Singh *et al.*, 2010).

Na pós-colheita de cogumelos frescos indica-se temperaturas estáveis entre 0 e 2°C e umidade relativa do ar entre 90 e 100%, pois essas condições proporcionam a redução das taxas das reações bioquímicas do tecido vivo (Rahman, 2007). A delicada estrutura epidérmica de proteção do cogumelo torna-o suscetível a desidratação superficial e danos por frio. O dano de frio ocorre quando a temperatura de armazenamento estiver abaixo de 0°C (Diamantopoulou; Philippoussis, 2015; Singh *et al.*, 2010).

#### 2.3.2.5 Umidade relativa do armazenamento

Wills e Golding (2016) indicaram que as recomendações de umidade relativa durante a pós-colheita para a maioria dos produtos *in natura* variam entre 85 e 95%, porém os produtos com alta taxa respiratória a umidade indicada pode ser de até 98%. A condição de umidade ideal está relacionada à redução da perda de água do produto e a prevenção ao crescimento microbiano. Também está relacionada à taxa de transpiração que é determinada pelas características do produto hortícola.

Tendo isso em vista, os cogumelos apresentam altos teores de água e estrutura epidérmica delicada, que proporcionam características favoráveis à transpiração (Diamantopoulou; Philippoussis, 2015). A umidade relativa do armazenamento afeta a transpiração de produtos *in natura* por estar relacionada ao déficit de pressão de vapor de água, que é a diferença entre a pressão de vapor real e a pressão de vapor do ar saturado em temperatura específica (Singh *et al.*, 2010). Assim, manter alta umidade relativa permite minimizar diferença entre a pressão de vapor do produto e o ambiente, reduzindo a transpiração e a desidratação do tecido dos cogumelos (Rahman, 2007).

A baixa umidade relativa resulta em perda excessiva de água, que provoca o declínio da pressão celular, causa danos às células e o aumento da atividade enzimática, acelerando a desagregação celular que proporciona a perda de qualidade (Rahman, 2007). Por outro lado, alta umidade relativa (100%) e pequena flutuação de temperatura proporcionam a condensação de água sobre a superfície fria do alimento favorecendo o crescimento de microrganismos na superfície (Singh *et al.*, 2010).

#### 2.3.2.6 Danos mecânicos

O alto teor de umidade e a textura macia dos cogumelos favorecem susceptibilidade a lesões mecânicas em qualquer estágio, desde a produção até a comercialização (Diamantopoulou; Philippoussis, 2015). Os danos mecânicos provocam lesões aos tecidos e as células, assim, facilitando a entrada de microrganismos, aumentando a taxa de respiração e, portanto, produzindo calor metabólico, além de aumentar a perda de água e levar as reações fisiológicas anormais na área danificada (Simson; Straus, 2010).

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (2005) ao definir o padrão internacional para cogumelos comestíveis, vigente desde 2005, informa que não permite a comercialização de cogumelos com danos mecânicos e danos por pragas e doenças. Portanto, são permitidas leves contusões superficiais que decorrem da colheita,

manuseio, pressão ou durante a pré-embalagem. Porém, os danos devem ser leves, superficiais e seu desenvolvimento deve ser improvável.

Os danos mecânicos promovem a perda de qualidade do cogumelo imediatamente ou em curto espaço de tempo, reduzindo ainda mais a vida útil dos cogumelos frescos. De forma a evitar esses danos mecânicos, recomenda-se o manuseio cuidadoso e práticas de colheita e processamento adequados.

## **2.4 Métodos de conservação**

Singh *et al.* (2010) descreveram que o uso da cadeia de resfriamento reduz a deterioração microbiana e fisiológica dos cogumelos, porém as condições atuais de trânsito e comercialização resultam em uma vida útil curta. A perecibilidade dos cogumelos *in natura* motiva o estudo de novos métodos de conservação, assim como, a combinação de diferentes métodos.

Zhang, Pu e Sun (2018) classificaram os métodos de preservação de *A. bisporus* em três categorias: métodos térmicos de secagem e de resfriamento; os métodos de preservação físicos, que são as embalagens em atmosfera modificada, irradiação e campo elétrico pulsado; e os métodos químicos que utilizam agentes antimicrobianos como o ozônio, a água eletrolisada e os tratamentos de revestimento.

Além da utilização dos métodos de conservação *per se*, tem sido testada a sua combinação com os óleos essenciais. Os óleos essenciais são fonte de antioxidantes e substâncias antifúngicas e antibacterianas, além de apresentarem alta atividade na fase de vapor. Os compostos voláteis do óleo essencial se difundem através da membrana celular e, como resultado, induzem reações biológicas nos tecidos. Dessa forma, a fumigação com óleos essenciais pode alterar os parâmetros bioquímicos, microbianos e físico-químicos das frutas e hortaliças. Portanto, o uso dos óleos essenciais deve se adequar ao tipo de

cultura para complementar a natureza sensorial (Namiota; Bonikowski, 2021; Sánchez-González *et al.*, 2011b).

Diferentes trabalhos observaram alterações sensoriais do produto fresco após a aplicação de óleo essencial. Por exemplo, Jiang, Luo e Ying (2015) avaliaram a fumigação de óleos essenciais de cravo, canela e tomilho em *L. edodes* e observaram que as amostras fumigadas apresentavam odor desagradável menos intenso em comparação ao tratamento controle durante o período de armazenamento. Maghenzani *et al.* (2018) estudaram a aplicação de vapor de óleo essencial de *T. vulgaris* e *S. montana* na qualidade pós-colheita de acerola (cv. Ferrovia) e os resultados da análise sensorial mostraram efeito positivo no aspecto visual, porém houve aumento nos aromas estranhos perceptíveis que possivelmente tenha sido provocado pela interação dos perfis aromáticos da fruta e do óleo essencial. Desta forma, os estudos da aplicação de cinamaldeído em cogumelos frescos são necessários.

Abaixo são apresentados os principais métodos de conservação empregados em cogumelos frescos passíveis de incorporação dos óleos essenciais, como o resfriamento, embalagem com modificação da atmosfera e os revestimentos comestíveis. Além disso, se descreve uma nova abordagem com esferas/nanopartículas.

#### 2.4.1 Resfriamento

O resfriamento dos cogumelos frescos é essencial para a manutenção da qualidade e conservação do alimento. Os cogumelos Enokitake (*F. velutipes*) armazenados a 5°C apresentaram vida útil mais longa quando em comparação aos cogumelos armazenados a temperatura de 10 e 15°C (Kang; Park; Lee, 2001).

He *et al.* (2013) buscaram determinar se o rápido resfriamento a vácuo proporciona efeitos nas características de qualidade física e química de cogumelo quando armazenados a 1°C e umidade relativa de 85 a 95% por 14 dias. Os resultados demonstraram que o



resfriamento a vácuo reduziu significativamente a atividade da enzima polifenoloxidase (PPO) e a permeabilidade da membrana dos cogumelos. Assim, os cogumelos apresentaram, período mais longo de conservação.

A utilização do resfriamento em conjunto com os óleos essenciais, pode otimizar a preservação das características dos cogumelos frescos. Gao, Feng e Jiang (2014) e Jiang, Luo e Ying (2015) estudaram a fumigação dos óleos essenciais de cravo, tomilho e cinamaldeído na preservação da qualidade do cogumelo paris (*A. bisporus*) e cogumelo shitake (*L. edodes*), respectivamente. Independentemente do tipo de cogumelo testado, os cogumelos fumigados mantiveram a firmeza do tecido, as características sensoriais, houve elevação no teor de fenólicos totais e da capacidade antioxidante em comparação ao tratamento controle. Em ambos os estudos, a fumigação de cinamaldeído apresentou maior segurança microbiológica e potencial de preservação da qualidade dos cogumelos.

#### *2.4.2 Embalagem com modificação da atmosfera*

Nos sistemas com modificação da atmosfera, Chitarra e Chitarra (2005) descreveram a redução da concentração de oxigênio e a elevação da concentração de gás carbônico, com o objetivo de reduzir a intensidade da respiração do produto e assim aumentar a sua vida útil, sem perder a qualidade. Esse sistema, associado com a refrigeração, promove a redução da taxa de transpiração, da biossíntese e ação de etileno e do crescimento de microrganismos. Além disso, ocorre a minimização da atividade metabólica, retardo do escurecimento enzimático e a manutenção da aparência visual em cogumelos (Jiang *et al.*, 2011).

Há duas técnicas para a obtenção da modificação da atmosfera, o processo ativo e o passivo. A modificação ativa da atmosfera é gerada pela injeção de gases no espaço livre da embalagem. Enquanto a modificação passiva se desenvolve naturalmente, como consequência da respiração do produto e da difusão de gases através do filme (Chitarra;

Chitarra, 2005). Porém, a atmosfera modificada pode levar ao acúmulo de água na superfície do produto e, conseqüentemente, promover o crescimento microbiano e a viscosidade do alimento. Característica importante para produtos com alta taxa respiratória, como os cogumelos (Singh *et al.*, 2010).

Lópes-Gómes *et al.* (2021) relataram a falta de estudos que utilizam a atmosfera modificada pela técnica ativa. Já Singh *et al.* (2010) descreveram que a utilização dessa técnica é recomendada para produtos com baixa taxa respiratória e requer alto custo e recursos tecnológicos específicos. A técnica de atmosfera modificada (passiva) tem o potencial de preservar a qualidade do produto, prolongar a vida pós-colheita e influenciar a segurança. Em virtude disso, é amplamente estudada em conjunto com outras técnicas para conservação de cogumelos frescos inteiros e fatiados.

Jiang *et al.* (2011) estudaram a aplicação de óxido nítrico em integração com a modificação passiva da atmosfera (MAP) da embalagem em *A. bisporus* armazenados a  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de 90% por 16 dias. Ao final da armazenagem, os autores observaram menor redução de massa fresca e escurecimento, a manutenção da firmeza do tecido e das características sensoriais dentro dos limites aceitáveis, bem como maior capacidade antioxidante devido ao maior teor de ácido ascórbico em comparação aos cogumelos do tratamento controle. Além disso, os cogumelos tratados com óxido nítrico apresentaram atraso na abertura do chapéu.

Lópes-Gómes *et al.* (2021) estudaram a atmosfera modificada ativa em conjunto com duas concentrações diferentes de vapor do mix de óleos essenciais (eugenol, bergamota e toranja), que foi vaporizado para dentro da embalagem de *A. bisporus* fatiados e armazenados a  $4^{\circ}\text{C}$  por 14 dias. Os autores observaram que a atmosfera de óleo essencial reduziu a atividade das enzimas polifenoloxidase (PPO) e fenilalanina amônia-liase. Também demonstraram efeito bacteriostático, principalmente em *Pseudomonas* spp. Dessa

forma, os cogumelos fatiados tratados com a vaporização do mix de óleos essenciais mantiveram qualidade superior ao tratamento controle durante a pós-colheita.

#### 2.4.3 Revestimentos comestíveis

Na área de conservação de alimentos, os revestimentos comestíveis têm ganhado espaço, pois retardam as variações dos parâmetros de qualidade dos produtos alimentícios, como: sabor, textura, cor, aparência e entre outros (Sánchez-González *et al.*, 2011b). Essa técnica, em associação ao armazenamento a frio, prolongam a vida útil de cogumelos, pois melhoram a qualidade e a segurança dos cogumelos.

Os revestimentos comestíveis são constituídos de polímeros sintéticos ou biopolímeros que são aplicados na superfície de frutas e hortaliças. Esses materiais apresentam permeabilidade seletiva ao vapor de água e aos gases metabólicos (oxigênio, gás carbônico e ao etileno), assim, reduzindo as trocas entre o alimento e o meio ambiente. Dessa forma, retardam a taxa respiratória, as reações metabólicas e conseqüentemente o processo de senescência do produto. Além disso, reduzem a perda de massa fresca, pois o revestimento forma uma matriz de natureza hidrofóbica contínua ao redor do produto, proporcionando o aumento da resistência à saída do vapor d'água (Chitarra e Chitarra, 2005; Sánchez-González *et al.*, 2011b).

O efeito isolado do revestimento comestível é conhecido e descrito por vários autores. Wang *et al.* (2015) testaram o efeito de diferentes concentrações de glicina betaína exógena nas qualidades de *A. bisporus*. Jiang, Feng e Li (2012) estudaram a aplicação dos revestidos de quitosana, glicose e o complexo quitosana-glicose nas alterações de pós-colheita de shitake (*L. edodes*) sob armazenamento refrigerado. Os resultados demonstraram que a aplicação dos diferentes revestimentos comestíveis proporciona efeito semelhante nos cogumelos, como: a manutenção da firmeza do tecido e na qualidade sensorial, inibição da

taxa de respiração e da contagem microbiana, aumento dos teores de fenólicos, ácido ascórbico e da capacidade antioxidante em comparação ao controle.

Visando a obtenção de filmes ou revestimentos bioativos, atualmente tem-se incorporado em matrizes biopoliméricas compostos de diversas naturezas. Sánchez-González *et al.* (2011b) identificaram crescente interesse na incorporação de óleos essenciais, de forma a obter revestimentos bioativos pra a conservação de frutas, carnes e peixes. A dose de óleo essencial utilizada nos revestimentos bioativos deve ser menor daquela usada na fumigação. Porém, o óleo essencial pode alterar as características sensoriais dos produtos revestidos.

Jiang, Feng e Zheng (2012) investigaram o efeito do revestimento de quitosana enriquecido com óleo essencial de tomilho na qualidade pós-colheita do shitake. Os autores comprovaram que os cogumelos revestidos com quitosana enriquecida e óleo essencial mantiveram os parâmetros de qualidade do shitake superiores ao controle.

Nasiri *et al.* (2019) avaliaram o revestimento natural, goma de tragacanto, em conjunto com os óleos essenciais de *Satureja khuzistanica* e *Zataria multiflora* Boiss sobre as características de qualidade dos cogumelos paris. Os cogumelos tratados com os óleos essenciais apresentaram menor escurecimento, redução na taxa de respiração e na abertura do chapéu e elevaram o teor de sólidos solúveis totais em comparação aos cogumelos revestidos com goma de tragacanto, metabissulfito de sódio e controle.

#### 2.4.4 Esferas/nanopartículas

Raza *et al.* (2020) descreveram uma variedade de partículas e esferas capazes de aprisionar e liberar ingrediente ativo sob condições adequadas. São alguns exemplos: as microcápsulas de óleo vegetal com aplicação dermatológica (Pasqualim *et al.*, 2010), nanopartículas de quercetina (Lima, 2013), microcápsulas para liberação controlada de

progesterona (Leite, 2014), microesferas de taninos para o tratamento de água bruta (Nakano, 2016), entre outros usos.

As partículas/esferas podem apresentar diferentes tamanhos e serem diferenciadas com base na morfologia e estrutura interna. As micropartículas/microesferas estão na faixa de 100 a 1000 nm e a matriz contém o ingrediente ativo disperso em seu interior. Enquanto as microcápsulas apresentam de 1 a 1000  $\mu\text{m}$  de diâmetro e os ingredientes ativos estão envoltos em camadas (Raza *et al.*, 2020).

Diferentes técnicas são utilizadas para a obtenção de esferas, assim como diferentes ingredientes ativos podem ser encapsulados. A técnica mais frequente é a gelificação iônica que está baseada na complexação entre espécies de cargas opostas, conforme modelo apresentado na Figura 3. Os géis insolúveis são formados a partir da interação tridimensional entre os íons e os grupos carboxilato dos polissacarídeos, aprisionando o ingrediente ativo e a água (Aranha, 2015).

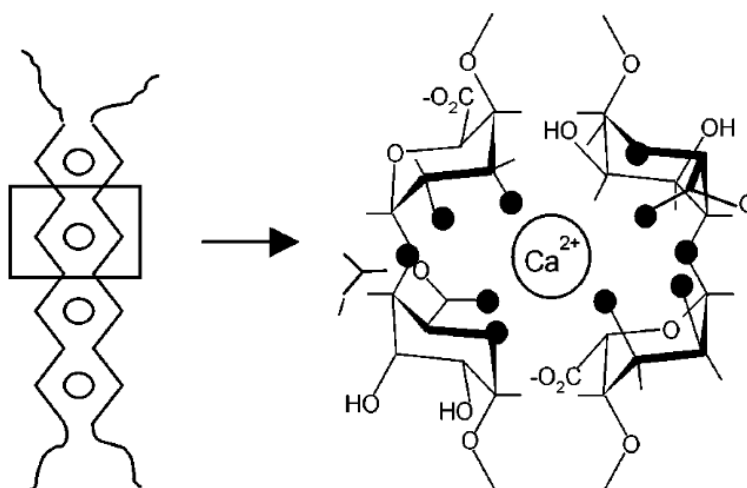


FIGURA 3. Representação do modelo “caixa de ovos”. Os pontos negros representam os átomos de oxigênio envolvidos na complexação com os íons cálcio. Fonte: Braccini e Pérez (2001).

Usualmente as partículas/esferas são formadas de polissacarídeo catiônico (quitosana) em conjunto com os íons de tripolifosfato de sódio (Lima, 2013) ou de polissacarídeos aniônicos (pectina, alginato, goma carragena entre outros), com adição aos íons de cálcio.

Assim como, pode ser necessária a utilização de surfactantes, estabilizantes e emulsificantes. A encapsulação tem como função proteger os ingredientes ativos da oxidação, calor, acidez, alcalinidade, umidade ou evaporação (Raza *et al.*, 2020).

As partículas/esferas podem ser formadas por dois processos. Na técnica de gelificação iônica interna a solução de biopolímeros recebe a solução de sais, principalmente de cálcio, seguido de redução do pH (libera os íons cálcio) para a complexação do cálcio com os grupos carboxílicos e a formação das microcápsulas. Na técnica de gelificação iônica externa, a solução de biopolímeros enriquecida com o ingrediente ativo é gotejada sobre uma solução iônica originando esferas (Aranha, 2015).

A técnica de gelificação iônica é um método eficaz, simples, rápido, estável e não demanda equipamentos sofisticados. Além da possibilidade de controlar características como tamanho e forma das partículas/esferas (Lima, 2013). Os principais componentes utilizados são os biopolímeros de quitosana e o alginato de sódio.

O alginato pode ser encontrado na natureza em algas marrons e em algumas espécies de bactérias e apresenta a fórmula química  $C_{76}H_{76}O_2$ . O alginato é constituído por blocos de monômeros não ramificados com regiões compostas pelo ácido  $\beta$ -D-manurônico (M), regiões com o ácido  $\alpha$ -L-gulurônico (G) e regiões mistas (Aranha, 2015). Os diferentes agrupamentos de monômeros pode ser observado na Figura 4. Variações na distribuição e na quantidade dos monômeros pode influenciar na capacidade de gelificação e nas características do gel de alginato (Braccini; Pérez, 2001).

Holkem, Codevilla e Menezes (2015) descreveram que o alginato é de baixo custo e apresenta alta biocompatibilidade com outros compostos. No entanto, o gel pode perder a estabilidade mecânica na presença de excessivos agentes quelantes e ambiente químico severo. A quitina ocorre naturalmente em alguns fungos e constitui os exoesqueletos de insetos e crustáceos. No entanto, a quitosana é um copolímero natural composto por unidades monoméricas de N-acetil-D-glicosamina e D-glicosamina, obtida

comercialmente a partir da quitina, por meio da desacetilação em meio alcalino (Lima, 2013). A fórmula estrutural da quitina e da quitosana são demonstradas na Figura 5. Em comparação à quitina, a quitosana apresenta maior percentual de grupos amino ( $\text{NH}_2$ ) e pequeno percentual de unidades acetoamido ( $\text{NHCOCH}_3$ ) (Nakano, 2016).

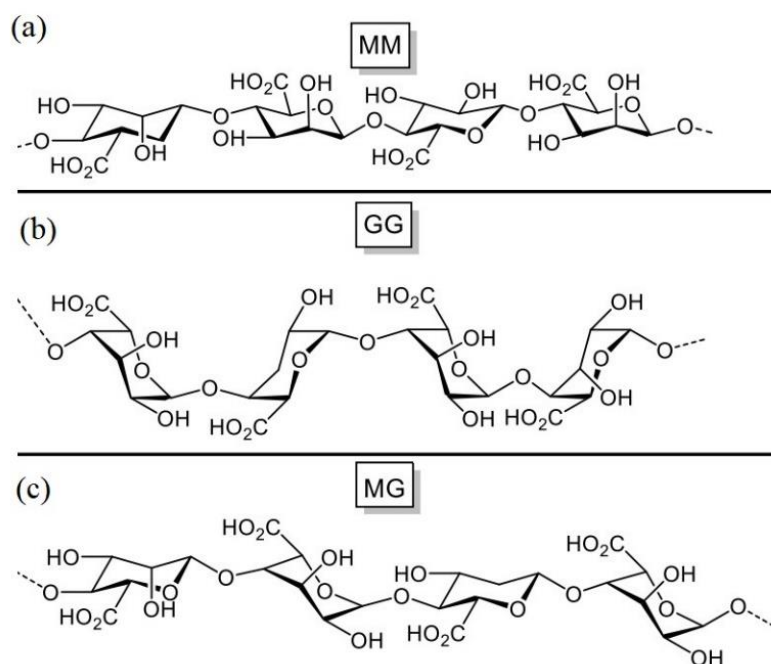


FIGURA 4. Fórmula estrutural das unidades méricas do alginato com distribuição em diferentes sequências. (a) blocos de monômeros MM; (b) blocos de monômeros GG; e (c) blocos de monômeros alternados MG. Fonte: Cacuro *et al.*, (2019).

A quitosana tem baixo custo, boa estabilidade, baixa toxicidade, simplicidade do método de obtenção e adaptável à propriedade desejada, como tamanho e carga superficial da partícula (Nakano, 2016).

A ampla utilidade das esferas possibilita a incorporação dos óleos essenciais ou de seu principal componente, como demonstrado em diversos estudos de preparação, caracterização e de liberação *in vitro*, são alguns exemplos: nanocápsulas biopoliméricas de quitosana-alginato carregadas com óleo essencial de cúrcuma (Rojsthisak; Rojsthisak; Nimmannit, 2009), encapsulamento de óleo essencial de orégano em

nanopartículas de quitosana (Hosseini *et al.*, 2013), nanopartículas de quitosana carregadas com carvacrol (Keawchaon; Yoksan, 2011), entre outros.

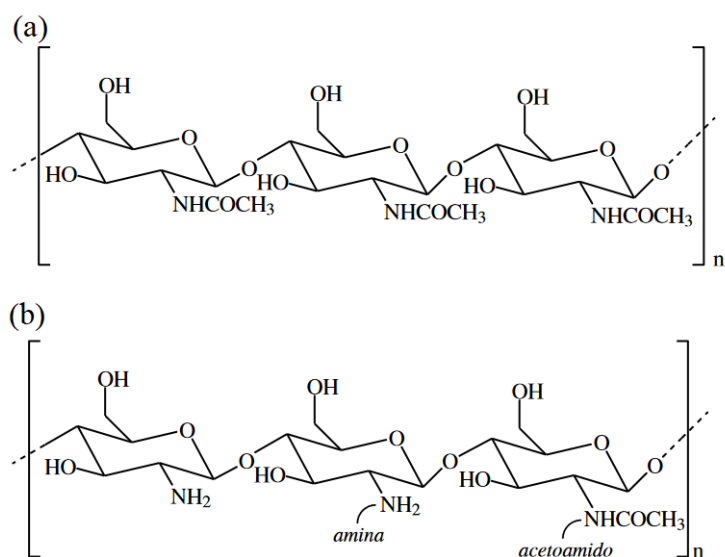


FIGURA 5. Fórmula estrutural da quitina (a) e quitosana (b). Fonte: Nakano (2016).

Entre a diversidade de óleos essenciais estudados, o óleo essencial de canela (*Cinnamomum* sp.) que tem como principal componente ativo o cinamaldeído (aldeído cinâmico ou 3-fenil-2-propenal), apresenta a fórmula química C<sub>9</sub>H<sub>8</sub>O e pode ser observado na Figura 6 (Figueiredo *et al.*, 2017). O cinamaldeído é um composto conhecido por exercer atividade antimicrobiana e antioxidante, sendo amplamente utilizado como agente aromatizante em produtos médicos, alimentícios e cosméticos (Figueiredo *et al.*, 2017; Garrido, 2018).

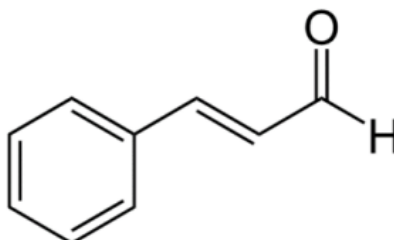


FIGURA 6. Fórmula estrutural do cinamaldeído. Fonte: Garrido (2018).



Sánchez-González *et al.* (2011b) relataram a expansão da utilização dos óleos essenciais em conjunto com diferentes métodos de conservação e técnicas, possibilitando a sua utilização na conservação de produtos *in natura* sob resfriamento. Desta forma, se justifica o estudo de vida de prateleira de cogumelos paris embalados com sachês de alginato de sódio com ou sem cinamaldeído, visando uma alternativa para a conservação de cogumelos paris frescos em armazenamento resfriado.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção estarão descritos os métodos de obtenção dos sachês de esferas de alginato de sódio com ou sem cinamaldeído, assim como, os métodos empregados nas avaliações dos parâmetros de qualidade de cogumelos paris acondicionados com os sachês desenvolvidos no presente estudo.

#### 3.1 Obtenção dos sachês de conservação

Os sachês de conservação foram preenchidos com esferas de alginato de sódio com e sem cinamaldeído. Dessa forma, o preparo dos sachês levou em consideração a infraestrutura e os reagentes prontamente disponíveis no Laboratório de Fisiologia e Pós-colheita da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Os reagentes químicos utilizados foram alginato de sódio (SAFC<sup>TM</sup>), cloreto de cálcio (Dinâmica), cinamaldeído natural  $\geq 95\%$  de pureza (Sigma-Aldrich), polissorbato 80 P.S. (Dinâmica), ácido acético glacial (Vetec Química Fina) e quitosana com grau de acetilação de 86,3% (Polymar e Nutrição S/A). Visando aumentar a estabilidade da emulsão do óleo de cinamaldeído natural e da solução aquosas de alginato, o polissorbato 80 P.S foi utilizado devido ao seu efeito estabilizador e emulsificante (Almeida, 2019).

O método utilizado para a obtenção das esferas foi a técnica de gelificação iônica, conforme descrito por Pasqualim *et al.* (2010) e Leite (2014). Algumas modificações na técnica foram empregadas, após resultados de testes preliminares identificarem as concentrações dos reagentes que produziam esferas de alginato de sódio capazes de manter

o formato esférico após a etapa de recobrimento. Na primeira etapa de obtenção das esferas de alginato de sódio com ou sem cinamaldeído, se utilizou a técnica de gelificação iônica. Como apresentado na Figura 7(a), a solução de alginato de sódio 3% (m/v), acrescida ou não de 0,06 mol/L de cinamaldeído natural e polissorbato 80 P.S. 1% (m/v) foi adicionada a uma seringa inclinada de 20 mL que estava disposta a 10 cm de uma solução de cloreto de cálcio 2% (m/v), em constante agitação.

O gotejo da solução de alginato de sódio 3% (m/v) na solução de cloreto de cálcio 2% (m/v) formou esferas individuais. Após o término do gotejo da seringa, as esferas foram agitadas por 15 minutos, seguido de três lavagens com água destilada e a retirada do excesso de água. Assim, se obteve as esferas apresentadas na Figura 7(b).

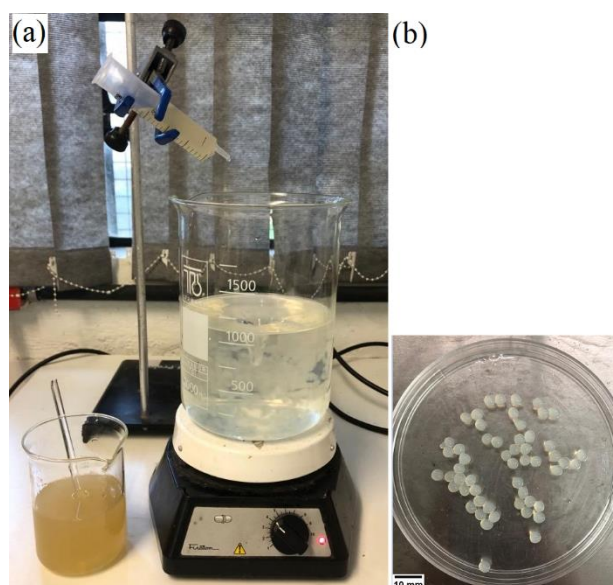


FIGURA 7. Primeira etapa de obtenção das esferas de alginato de sódio com ou sem cinamaldeído. (a) técnica de gelificação iônica; (b) visual das esferas resultantes da técnica de gelificação iônica.

A solução de quitosana a 1% (m/v) foi preparada previamente em ácido acético 0,1M por seis horas em temperatura ambiente e constante agitação. As esferas de alginato de sódio com ou sem cinamaldeído, obtidas anteriormente, foram recobertas com a solução de quitosana mediante agitação por 30 minutos em uma solução de quitosana 1% (m/v) acrescida ou não de 0,06 mol/L de cinamaldeído natural e polissorbato 80 P.S. 1% (m/v),

conforme Figura 8(a). Em seguida, se realizou três lavagens e a retirada do excesso de água destilada. As esferas resultantes podem ser visualizadas na Figura 8(b).

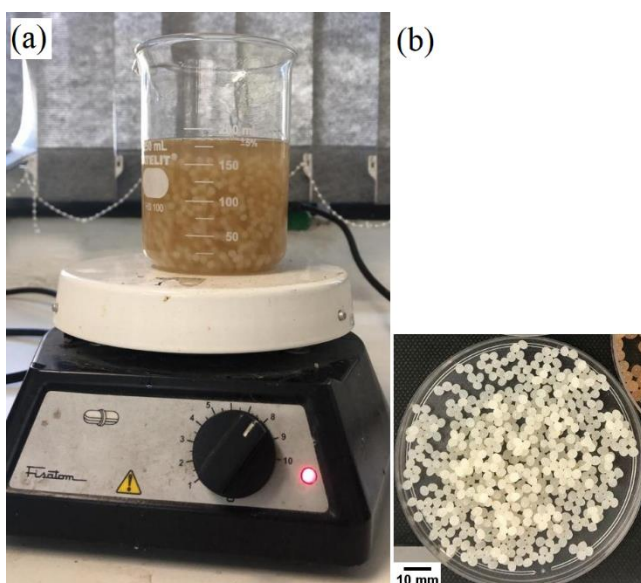


FIGURA 8. Segunda etapa de obtenção das esferas de alginato de sódio com ou sem cinamaldeído. (a) revestimento das esferas em solução de quitosana; (b) visual das esferas resultantes da imersão em quitosana.

Após cada etapa de obtenção das esferas de alginato de sódio com e sem cinamaldeído se determinou o diâmetro médio e o peso de 40 esferas com paquímetro digital e balança de precisão, respectivamente, conforme Tabela 1.

TABELA 1. Características das esferas de alginato de sódio com e sem cinamaldeído após as etapas de obtenção.

Tipo de esferas	Etapas de obtenção de esferas		Redução (%)
	Após a técnica de gelificação iônica	Após o revestimento	
Diâmetro médio das esferas (mm)			
Esferas sem cinamaldeído	$3,79 \pm 0,262$	$3,37 \pm 0,212$	12,70
Esferas com cinamaldeído	$3,44 \pm 0,241$	$2,89 \pm 0,232$	19,12
Peso de 40 esferas (g)			
Esferas sem cinamaldeído	$1,40 \pm 0,030$	$0,962 \pm 0,018$	45,74
Esferas com cinamaldeído	$1,10 \pm 0,028$	$0,662 \pm 0,013$	65,61

Os dados são expressos como a média  $\pm$  erro padrão (n = 40).

Entre as etapas de obtenção de esferas, o diâmetro médio das esferas e o peso de 40 esferas apresentaram distinções, ou seja, observou-se a redução percentual das variáveis medidas após o revestimento com quitosana, independentemente do tipo de esfera. Possivelmente o gel de alginato tenha perdido estabilidade mecânica na presença da quitosana (Holkem, Codevilla e Menezes (2015). Porém, Leite (2014) descreveu que o mesmo revestimento reforça as esferas de alginato, aumenta a estabilidade, a encapsulação do ingrediente ativo e impede o rápido desgaste do gel.

Em relação às diferenças apresentadas entre os tipos de esferas (com e sem cinamaldeído) e as etapas de obtenção de esferas, pode-se afirmar que as esferas sem cinamaldeído apresentaram esferas maiores e mais pesadas, enquanto as esferas com cinamaldeído foram menores e mais leves. As razões destas diferenças não são conhecidas e poderiam ser estudadas.

Com o intuito de preencher homoganeamente o fundo da embalagem circular de poliestireno expandido, os sachês foram confeccionados em dimensão 7 x 5 cm com material flexível, poroso, atóxico (ABNT, 2017), denominado tecido-não-tecido (TNT). Assim, os sachês foram preenchidos com 7 gramas de esferas de alginato de sódio do respectivo tratamento, e foram dispostos conforme Figura 9.



FIGURA 9. Sachê de tecido-não-tecido (TNT) preenchido com esferas de alginato de sódio disposto no fundo da embalagem de poliestireno expandido.

Devido as características voláteis do cinamaldeído, as esferas de alginato de sódio foram utilizadas úmidas. Assim, sachês de esferas de alginato de sódio e os sachês de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído receberam a denominação de sachês com PA e sachês com PAC, respectivamente. Em seguida, os sachês foram utilizados na conservação de cogumelos paris frescos.

### **3.2 Preparação das embalagens de cogumelo paris e armazenamento**

Os cogumelos paris (*A. bisporus*) utilizados neste estudo foram adquiridos no mercado local (Porto Alegre, BR), um dia após a colheita, em dezembro de 2021. Os cogumelos paris foram transportados refrigerados para o Laboratório de Fisiologia e Pós-colheita da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Com o intuito de uniformizar a temperatura dos cogumelos paris, eles foram dispostos em câmara fria a  $9\pm 1^\circ\text{C}$  por 12 horas (durante a noite). Na manhã seguinte, a bancada e o local de homogeneização das amostras foram previamente higienizados. Os cogumelos paris não foram submetidos a nenhuma técnica de higienização prévia ao acondicionamento e apresentavam coloração branca, véu intacto e a razão entre o comprimento e o diâmetro médio do estipe era de 1,0.

As embalagens de cogumelos foram preparadas conforme os tratamentos estabelecidos. A embalagem circular de poliestireno expandido apresentou dimensões de 14 cm de diâmetro e 6 cm de altura. Cada embalagem (unidade experimental) recebeu um sachê do respectivo tratamento, enquanto no tratamento controle, os cogumelos foram conservados na ausência de sachês. Aproximadamente 90 gramas ou nove cogumelos paris (unidades amostrais) foram selecionados ao azar e dispostos verticalmente nas embalagens, ou seja, o estipe esteve em contato com o sachê ao fundo da embalagem. Em seguida, as embalagens foram envoltas em película de PVC de 10 micra (Meiwa Ltda., São Paulo, BR), conforme demonstrado na Figura 10.

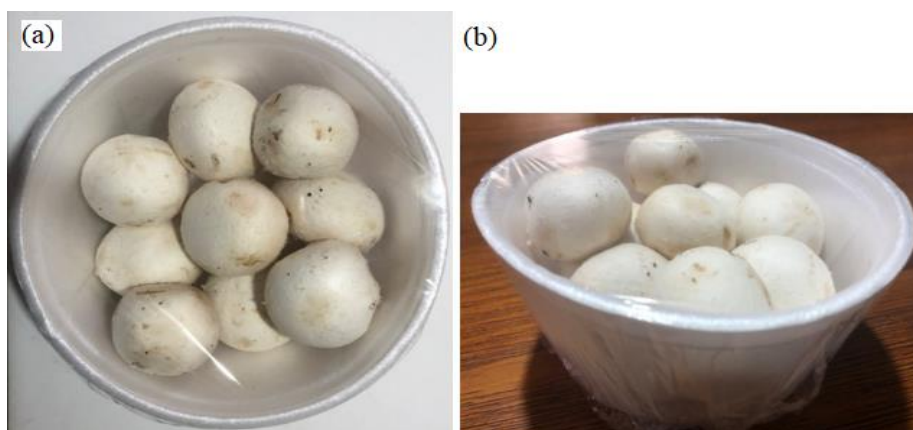


FIGURA 10. Disposição dos cogumelos paris, sobre o sachê, no interior da embalagem de poliestireno expandido. (a) visualização superior; (b) visualização lateral.

Para a avaliação da qualidade dos cogumelos durante a conservação pós-colheita, 36 embalagens com os tratamentos mencionados anteriormente foram armazenadas em câmara fria por 13 dias a  $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Durante o período de conservação, três réplicas de cada grupo de tratamento foram analisadas inicialmente (dia 0) e após 3, 7, 10 e 13 dias de armazenamento. Desta forma, cada tratamento por dia de armazenamento foi constituído por três unidades experimentais que continham aproximadamente nove unidades amostrais (cogumelos) em seu interior. Cabe destacar que todos os parâmetros de qualidade dos cogumelos paris foram avaliados no mesmo dia.

Um estudo na Espanha demonstrou que os expositores refrigerados abertos em varejos exibiam temperatura entre  $1,5$  e  $5^{\circ}\text{C}$ , porém os produtos prontos para consumo em seu interior apresentaram temperatura média de  $8^{\circ}\text{C}$  e apenas duas amostras estavam ao limite do recomendado de  $4^{\circ}\text{C}$  (González *et al.*, 2013). Desta forma, com o intuito de aproximar a condição ambiental do ensaio experimental à realidade de pós-colheita, o armazenamento do cogumelo paris foi realizado em temperatura de  $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

### 3.3 Parâmetros de qualidade dos cogumelos paris

As alterações da qualidade dos cogumelos frescos se iniciam após a colheita (Zhang; Pu; Sun, 2018). Assim, os parâmetros de qualidade fornecem informações relevantes para

determinar o tempo médio de vida de prateleira dos cogumelos paris. Abaixo estão especificados e descritos os parâmetros de qualidade avaliados durante o ensaio.

Para a realização de um adequado estudo experimental, as embalagens de cogumelos paris foram consideradas como unidades experimentais, nas quais foram avaliados os parâmetros de perda de massa fresca e a abertura do chapéu. Os demais parâmetros de qualidade foram determinados em unidades amostrais, ou seja, em amostras de cogumelos paris individuais. Na Figura 11, se observa o número de unidades amostrais avaliados em cada parâmetro de qualidade através do número de cogumelos.

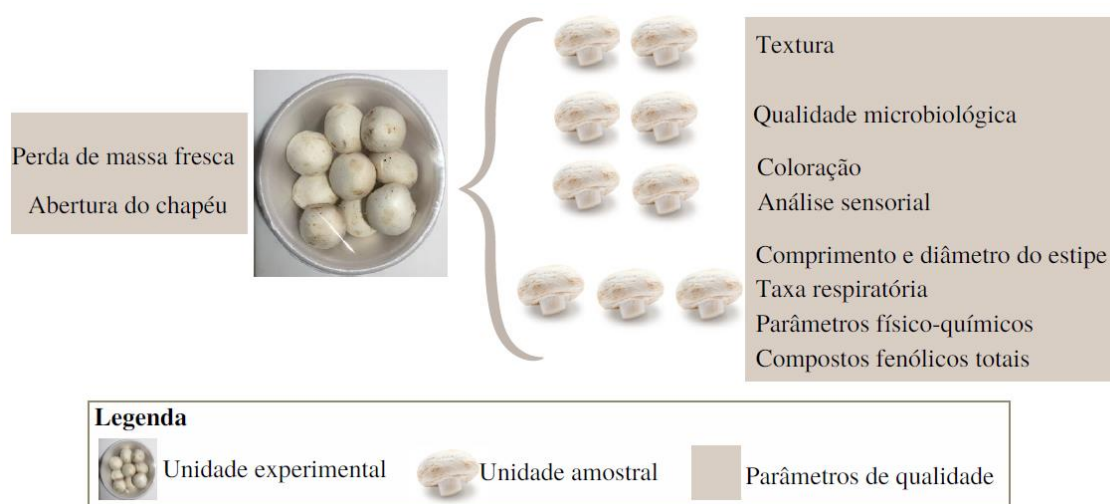


FIGURA 11. Representação esquemática da unidade experimental, das unidades amostrais e o número de réplicas avaliadas nos parâmetros de qualidade.

Para a determinação da textura e qualidade microbiológicas foram utilizados dois cogumelos paris em cada análise (avaliação destrutiva). Por outro lado, para a determinação da coloração e análise sensorial, se utilizaram dois outros cogumelos. Para os outros três cogumelos restantes, inicialmente, o comprimento e diâmetro do estipe foram avaliados, assim como, foi determinada a taxa respiratória (análises não destrutivas), em seguida, os parâmetros físico-químicos e compostos fenólicos totais foram avaliados (análises destrutivas).



### *3.3.1 Determinação de perda de massa fresca*

A perda de massa fresca foi determinada ao pesar individualmente os componentes das embalagens de cogumelos paris (unidades experimentais) antes e após o período de armazenamento. A diferença obtida foi expressa como a porcentagem de perda de massa fresca em relação ao peso inicial (Gao; Feng; Jiang, 2014).

### *3.3.2 Determinação da textura*

A textura dos cogumelos, expressa em Newton (N), foi determinada em texturômetro (Stable Micro Systems, modelo TA.XT, Godalming, Inglaterra, UK), instalado no Laboratório de Análise de Propriedades Físicas dos Alimentos/ICTA. O teste de penetração foi realizado no píleo (chapéu) do cogumelo, até a profundidade de 5 mm, utilizando como parâmetro 2,0 g de gatilho, altura máxima de 22 cm, probe cilíndrica de 5 mm e velocidade de sonda de 2,0 mm s<sup>-1</sup>, conforme a metodologia descrita por Jiang (2013). Os dados de força e tempo foram registrados pelo software Texture Expert (Versão 1.0). O teste foi realizado em dois cogumelos paris por embalagem.

### *3.3.3 Determinação da cor de superfície do chapéu*

A cor da superfície do píleo dos cogumelos paris foi determinada com um calorímetro marca Konica Minolta, modelo CR-400 (KonicaINC., Minolta CR-400, Tokyo, JP). Parâmetros do sistema CIE como L\* (claro/escuro), a\* (vermelho/verde) e b\* (amarelo/azul) foram avaliados em duas unidades amostrais (cogumelos paris) por embalagem mediante três leituras em pontos aproximadamente equidistantes (Oms-Oliu; Soliva-Fortuny; Martin-Belloso, 2008). Utilizou-se iluminante D65. Em seguida, parâmetros como diferença de cor ( $\Delta E$ ), índice de escurecimento (BI), hue (H°) e o croma (C\*) foram calculados em base aos valores obtidos de L\*, a\* e b\*.

O deltaE foi calculado por duas metodologias distintas, a variação total de cor ( $\Delta E^1$ ) e a diferença total de cor ( $\Delta E^2$ ), porém ambas indicam as mudanças gerais de cor do

cogumelo paris. A Equação 1, descrita por Gao, Feng e Jiang (2014), compara os parâmetros de cor obtidos após o armazenamento com os valores ideais de cor de um cogumelo paris, que são:  $L^* = 97$ ,  $a^* = -2$  e  $b^* = 0$ . Esses valores de referência foram utilizados para o cálculo de  $\Delta E^1$ .

$$\Delta E^1 = \left[ (L^* - 97)^2 + (a^* - (-2))^2 + (b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

A Equação 2, descrita por Xu *et al.* (2016) compara os parâmetros de cor obtidos após o armazenamento com os valores obtidos no momento do preparo das embalagens, no dia 0. Essa equação foi utilizada para calcular  $\Delta E^2$ .

$$\Delta E^2 = (L_c - L_t)^2 + (a_c - a_t)^2 + (b_c - b_t)^2 \quad (2)$$

Onde  $L_c$ ,  $a_c$  e  $b_c$  são os valores de cor dos cogumelos paris inicialmente (dia 0), e  $L_t$ ,  $a_t$  e  $b_t$  representam os valores de cor dos cogumelos paris após o período de armazenamento.

O índice de escurecimento, o hue e o croma foram calculados conforme descrito por Palou *et al.* (1999). O índice de escurecimento (BI) representa a pureza da cor marrom e foi calculado conforme as Equações 3 e 4.

$$BI = \frac{[100 \times (x - 0,31)]}{0,172} \quad (3)$$

$$x = \frac{[a^* + (1,75 \times L^*)]}{[(5,645 \times L^*) + a^*(-3,012 \times b^*)]} \quad (4)$$

O hue ( $H^\circ$ ) e o croma ( $C^*$ ) representam a tonalidade e a saturação da cor, respectivamente (Pathare; Opara; Al-Said, 2013) e foram obtidas pelas Equações 5 e 6.

$$H^\circ = \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (5)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (6)$$

Onde,  $L^*$  = luminosidade (claro/escuro);  $a^*$  = (vermelho/verde);  $b^*$  = (amarelo/azul).

### 3.3.4 Análise sensorial dos cogumelos paris

Na análise sensorial foram avaliados os atributos de qualidade visual que correspondiam à aparência visual geral, ausência de zonas escuras no chapéu, intensidade de aroma de cogumelo e intensidade de aroma de cinamaldeído presente nos cogumelos. Esses atributos foram avaliados mediante escala hedônica de 9 pontos (López-Gómez *et al.*, 2021) e apresentada no apêndice A. A análise sensorial tinha como principal objetivo identificar se os consumidores constatavam mudanças na qualidade dos cogumelos paris com o uso dos sachês.

A análise foi realizada por quatro painelistas, em razão das regras de restrição decorrentes da pandemia de Covid-19. Foi realizado o treinamento prévio dos painelistas, dois dias antes do início do ensaio, com o intuito de apresentar o aroma de cinamaldeído e os cogumelos paris frescos e em diferentes períodos de armazenamento.

Nos dias de avaliação, após a abertura da embalagem de cogumelos paris, dois cogumelos (unidades amostrais) foram selecionados ao acaso e dispostos em potes plásticos com tampa e codificados. Em até 2 horas após a abertura das embalagens (unidade experimental), os cogumelos paris foram avaliados pelos quatro painelistas (Jiang; Feng; Zheng, 2012). As avaliações foram realizadas inicialmente (dia 0) e aos 3, 7, 10 dias de armazenamento.

Na aparência visual geral, a pontuação 9 indicava que a amostra era excelente, 7 = muito boa, 5 = boa e ao limite da comercialização, 3 = pobre e ao limite da usabilidade, e 1 = pobre e não comestível. Na ausência de zonas escuras no chapéu, a pontuação 9 indicava amostra sem escurecimento, 7 = leve a moderado, 5 = moderado, 3 = moderado a severo, e 1 = severo. Na intensidade de aroma de cogumelo paris, a pontuação 9 indicava

amostra de aroma típico completo, 7 = moderadamente completo, 5 = moderado, 3 = pobre, e 1 = nenhum. E a intensidade de aroma de cinamaldeído presente nos cogumelos paris a pontuação 9 indicava amostra de aroma intenso, 7 = forte, 5 = moderado, 3 = pobre, e 1 = nenhum.

### 3.3.5 Determinação da abertura do chapéu

A identificação da abertura do chapéu se baseia no desenvolvimento da forma do píleo, seguido pelo desprendimento do véu. Assim, todos os cogumelos paris da embalagem (unidade experimental) foram avaliados para o desprendimento do véu. A abertura do chapéu foi determinada de acordo com a Equação 7 e o resultado foi expresso em porcentagem, conforme metodologia descrita por Jiang (2013).

$$\text{Chapéu aberto} = \left( \frac{Noc}{Nt} \right) \times 100 \quad (7)$$

Onde, Noc = número de cogumelos com o chapéu aberto; Nt = número total de cogumelos da embalagem.

### 3.3.6 Determinação do comprimento e diâmetro do estipe

As determinações do comprimento e diâmetro do estipe dos cogumelos paris foram realizadas com Paquímetro Digital (Uyustools, modelo Stainless CLD006, Hangzhou, CN) em três unidades amostrais (cogumelos paris) de cada embalagem. Se calculou a razão comprimento para diâmetro do estipe de cada unidade amostral através da divisão do comprimento pelo diâmetro. Neste caso, a razão representa um quociente adimensional e indica quantas vezes o primeiro número contém o segundo, assim, expressa a alteração ocorrida no comprimento e diâmetro do estipe em comparação ao dia inicial.

### 3.3.7 Determinação da taxa respiratória

A taxa respiratória do cogumelo paris foi determinada conforme Li, Zhang e Yu (2006). Aproximadamente 30 g de cogumelo paris (unidades amostrais) foram suspensos

em sistema estático com 25 mL da solução de hidróxido de sódio 0,4 mol/L (NaOH) por 90 minutos. Seguido da adição de fenolftaleína 1% e titulação com solução de ácido oxálico 0,1 mol/L (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Cada titulação foi realizada em duplicata e a taxa de respiração (RI) foi calculada em relação ao volume de ácido oxálico consumido, conforme a Equação 8. Os resultados foram expressos em mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

$$RI = \frac{[(V_1 - V_2) \times c \times 44]}{W \times t} \quad (8)$$

Onde, V<sub>1</sub> = volume de ácido oxálico do controle (mL); V<sub>2</sub> = volume de ácido oxálico da amostra (mL); c = concentração de ácido oxálico (mol L<sup>-1</sup>); 44 = massa molar do CO<sub>2</sub>; W = massa da amostra (kg); t = tempo do teste (h).

### 3.3.8 Determinação dos parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos determinados foram: o potencial hidrogeniônico (pH), a acidez total titulável (ATT) e o conteúdo de sólidos solúveis totais (TSS). Para cada tratamento, foram preparadas duas amostras constituídas de 10 gramas de diferentes cogumelos paris (unidades amostrais) da mesma embalagem, representando duas réplicas para cada análise.

O pH das amostras foi determinado pelo medidor de pH de bancada digital (MS Tecnopon Equipamentos Especiais LTDA., modelo TEC-7, Piracicaba, BR) conforme descrito por López-Gómez *et al.* (2021).

A acidez total titulável (ATT) e o conteúdo de sólidos solúveis totais (TSS) foram determinados conforme metodologias descritas em Instituto Adolfo Lutz (2008). A acidez total titulável (ATT) das amostras foi determinada por volumetria potenciométrica e a quantidade em gramas da acidez total titulável por 100 gramas de cogumelos fresco foi obtida pela Equação 9:

$$ATT = \frac{V \times f \times 10}{P} \quad (9)$$

Onde, V = volume de hidróxido de sódio 0,1 mol/L utilizado na titulação; f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 mol/L; P = massa da amostra (g).

O conteúdo de sólidos solúveis totais (TSS) de cada amostra foi determinado por refratômetro de bancada tipo Abbe (Biobrix, modelo 2WAJ, Paraná, BR) e os resultados expressos em °Brix.

### 3.3.9 Determinação dos compostos fenólicos totais

O teor de fenólicos totais foi quantificado pelo método de Folin-Ciocalteu por espectrofotometria, conforme Dias (2016), com algumas modificações. Para a extração das amostras, 3,0 g de parte do píleo de cogumelos (unidades amostrais) foram homogeneizados com 8 mL de solvente da extração (solução de acetona 50%) e dispostos em banho ultrassônico por 30 min (Spencer Equipamentos, modelo CD-3800(A), Iperó, BR). Posteriormente, a solução foi filtrada em papel qualitativo sanfonado e o remanescente foi transferido para frascos âmbar e armazenado em freezer.

Para a quantificação, em 0,25 mL de extrato da amostra foi adicionado 2,75 mL de solução de Folin-Ciocalteu a 3% e 0,25 mL de solução de carbonato de sódio a 10%, com posterior leitura da absorbância em espectrofotômetro (PG Instruments Ltd., modelo T60U (UV-Visible), Claybrooke Parva, Inglaterra, UK) a 765 nm. As determinações foram realizadas em triplicata. Preparou-se dois brancos e as concentrações de 20, 40, 60, 80 e 100 mg de ácido gálico/L para a curva padrão. Através da concentração foi calculado o teor em mg de ácido gálico equivalente (EAG) no alimento por 100 grama de amostra fresca através da equação 10:

$$EAG = \frac{(C \times V_E)/1000}{m} \times M \quad (10)$$

onde, C = concentração (mg/L) de ácido gálico equivalente no extrato;  $V_E$  = volume do extrato (mL); m = massa (g) de amostra usada na extração; M = 100 (amostra fresca).

### 3.3.10 Determinação da qualidade microbiológica

Os microrganismos psicrotrófilos, *Escherichia coli* e coliformes totais foram quantificados conforme metodologia descrita por Silva *et al.* (2007) e Silva *et al.* (2010). Foram utilizadas duas unidades amostrais (cogumelos) de cada unidade experimental.

Assepticamente, 10 g do píleo do cogumelo foram removidos e homogeneizados com 90 mL de água peptonada 0,1% (Kasvi), com posterior realização de diluições seriadas ( $10^{-1}$  a  $10^{-9}$ ). A inoculação foi realizada em duplicata. A contagem total de bactérias psicrotrófilas foi determinada em placa de ágar padrão para contagem (PCA; Oxoid) por plaqueamento em superfície e incubação a  $7\pm 1^\circ\text{C}$  por 7 dias.

Para as contagens de *Escherichia coli* e coliformes totais foram utilizadas Placas de Petrifilm *E. coli*/Coliform Count Plate (3M™ Petrifilm™ Plates). As placas foram incubadas a  $35\pm 1^\circ\text{C}$  por  $24\pm 2$  horas e os resultados foram expressos em  $\log \text{UFCg}^{-1}$  (unidades formadoras de colônia por grama de cogumelo paris fresco).

### 3.3.11 Análise estatística

Os experimentos foram realizados usando o delineamento inteiramente casualizado. A análise estatística dos dados experimentais foi realizada por meio do software RStudio (Versão 1.3.959, Boston, Massachusetts, USA, 2020).

Os tratamentos consistiam no controle, sachês com PA (esferas de alginato de sódio) e os sachês com PAC (esferas de alginato de sódio com cinamaldeído) em arranjo fatorial com o tempo de armazenamento (0, 3, 7, 10 e 13 dias). Os tratamentos eram compostos por três repetições (unidade experimental) e o número de repetições de cada parâmetro de qualidade variou e foi descrito acima.

Os resultados de todos os parâmetros de qualidade estavam de acordo para os pressupostos da análise paramétrica. Sendo assim, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as separações das médias foram realizadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O efeito dos sachês com alginato de sódio (PA) e dos sachês com cinamaldeído (PAC) sobre os parâmetros de qualidade em cogumelos paris foram demonstrados e discutidos. Assim, os resultados apresentados à continuação, referem-se a perda de massa fresca, textura, cor de superfície do chapéu, análise sensorial, abertura do chapéu, características do estipe, taxa respiratória, parâmetros físico-químicos, compostos fenólicos totais e qualidade microbiológica. Ao final, os principais resultados de cada parâmetro de qualidade foram apresentados no apêndice C.

### **4.1 Efeito dos sachês sobre a redução de massa fresca**

Rahman (2007) descreveram que a redução de massa fresca superior a 5% do peso colhido dos produtos frescos pode produzir alterações visíveis de textura. Os autores, Nunes e Emond (2007) descreveram que a redução de massa fresca máxima aceitável em cogumelo paris é de aproximadamente 15%. Porém, a qualidade do cogumelo não se relaciona somente com a massa fresca e sim, com os demais atributos de qualidade, como: a mudança de cor, textura, abertura do chapéu e o alongamento do estipe.

A evolução da redução de massa fresca em cogumelos paris armazenados com diferentes sachês de conservação está apresentada na Figura 12. Após a análise estatística dos resultados, foram observadas diferenças estatísticas ( $p \leq 0,05$ ) entre os dias e tratamentos avaliados. A maior redução de massa fresca durante a conservação dos cogumelos foi observada no tratamento controle, assim, aos 13 dias de armazenamento refrigerado, a perda média foi de  $4,50 \pm 0,02\%$ .

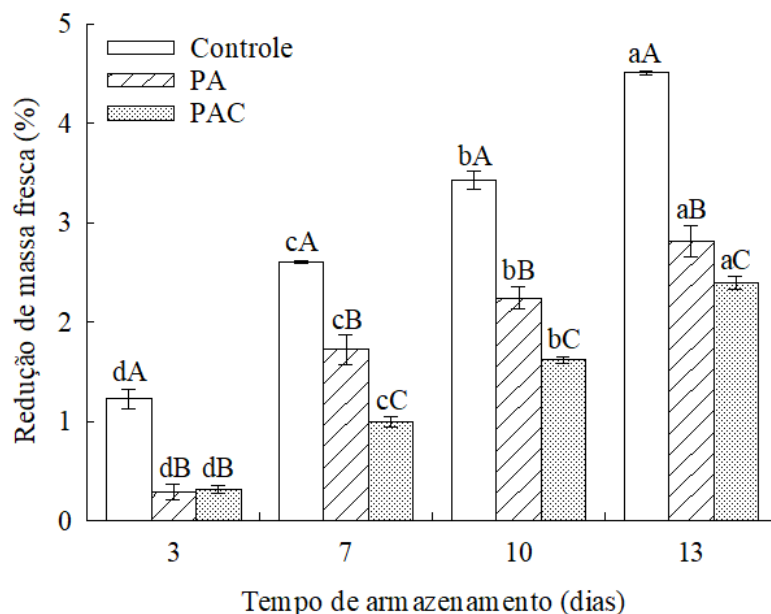


FIGURA 12. Percentual de redução de massa fresca em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação. PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Cada ponto de dados é a média de três amostras replicadas. As barras verticais representam os erros padrão das médias. Letras minúsculas representam diferenças significativas entre os dias de armazenamento e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Por outra parte, os tratamentos de sachês com PA e PAC diferiram estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) em relação ao tratamento controle em todos os tempos de armazenamento avaliados. Nos tratamentos PA e PAC, as reduções de massa fresca foram, em média, de  $2,82 \pm 0,16\%$  e  $2,40 \pm 0,06\%$ , respectivamente, após 13 dias de armazenamento. Desta forma, os tratamentos de sachês com PA apresentaram valores de redução de massa intermediários entre os demais tratamentos avaliados, já o tratamento de sachês com PAC apresentaram as menores reduções de massa fresca, exceto aos três dias de armazenamento. Esses resultados podem indicar que os sachês atuaram na manutenção da massa fresca.

Todos os tratamentos manifestaram a redução crescente de massa fresca nas amostras de cogumelos paris, por exemplo, o tratamento PAC apresentou reduções de  $0,31 \pm 0,04$ ,  $1,00 \pm 0,05$ ,  $1,62 \pm 0,04$ ,  $2,40 \pm 0,06\%$  de massa fresca aos 3, 7, 10 e 13 dias de

armazenamento, respectivamente. Efeito semelhante ocorreu nos demais tratamentos, porém em proporções diferentes, assim, houve diferença estatística ( $p \leq 0,05$ ) entre todos os dias avaliados.

A alteração de massa fresca do produto hortícola decorre da perda de água do tecido vivo através dos processos de respiração e transpiração das células. Assim, os principais fatores ambientais que afetam a perda de água por transpiração são a temperatura, umidade relativa e a movimentação do ar (Rahman, 2007). Todavia, as características do alimento também podem favorecer a redução de massa fresca através da desidratação superficial, como é o caso dos cogumelos que possuem uma fina estrutura epidérmica de proteção e alto teor de água (Diamantopoulou; Philippoussis, 2015).

Mahajan, Oliveira e Macedo (2008) criaram um modelo matemático que identificou que a temperatura e a umidade relativa do ar têm efeito significativo na taxa de transpiração dos cogumelos inteiros. As recomendações de umidade relativa estão entre 85 a 95% para a maioria dos produtos *in natura*, no entanto aqueles com alta taxa respiratória, a umidade indicada pode ser de até 98% (Wills e Golding, 2016).

Redução de massa fresca superior a 5% do peso colhido do produto fresco pode provocar murchamento e enrugamento, alterando visivelmente a textura do alimento (Rahman, 2007). Os tratamentos de sachês com PA e PAC apresentaram reduções significativas de massa fresca ( $p \leq 0,05$ ), porém a redução de massa fresca de todos os tratamentos permaneceu abaixo de 5%, indicando que as condições  $9 \pm 1^\circ\text{C}$  de temperatura e umidade relativa do ar (sem dados) foram adequadas.

Embora a umidade relativa do ar no interior das embalagens de cogumelos não seja desconhecida, os tratamentos de sachês de conservação com esferas úmidas de alginato de sódios com e sem cinamaldeído (PAC e PA), possivelmente representaram uma fonte de água no interior das embalagens. Em colaboração, os dados de peso dos sachês com PA e PAC demonstraram que houve redução média total de  $26,03 \pm 4,61$  e  $36,87 \pm 2,37\%$  no peso

dos sachês, respectivamente, durante o armazenamento. Além disso, no momento da avaliação, as esferas de alginato de sódio apresentavam-se integras, porém visualmente menores. Desta forma, a adição dos sachês de conservação pode ter provocado a redução da transpiração e da desidratação do tecido.

Gao, Feng e Jiang (2014) avaliaram o efeito da fumigação de óleos essenciais em *A. bisporus* armazenados por 16 dias a  $4\pm 1^\circ\text{C}$ . As amostras tratadas com fumigação de cravo, cinamaldeído e tomilho apresentaram reduções de massa fresca de 2,13%, 1,75% e 1,90%, respectivamente, enquanto que o tratamento controle foi de 2,57%.

Echegoyen e Nerín (2015) observaram a influência do uso de óleo essencial de canela e a redução de massa fresca de cogumelos. No estudo, os cogumelos *A. bisporus* foram embalados com papéis ativos contendo óleo essencial de canela e armazenados a  $8^\circ\text{C}$ . Após 9 dias de armazenamento, as reduções de massa fresca variaram de 59,8% no tratamento controle a 30% para os papéis ativos contendo cinamaldeído. Considerando o resultado obtido, os autores concluíram que a perda de peso foi significativamente menor na presença do óleo essencial de canela (cinamaldeído), porém os motivos que levam a menor perda de peso ainda são desconhecidos.

A redução de massa fresca obtido neste trabalho foi inferior àquela obtida por Echegoyen e Nerín (2015) e superior à obtida por Gao, Feng e Jiang (2014), possivelmente por efeito da temperatura e umidade relativa do ar durante o armazenamento. De modo geral, os sachês de conservação podem ter reduzido a perda de massa dos cogumelos paris, principalmente quando foram utilizados os sachês com cinamaldeído.

#### **4.2 Efeito dos sachês sobre a textura dos cogumelos**

A textura é um importante parâmetro de qualidade que pode determinar a vida útil de cogumelos paris. Alterações na textura de cogumelos podem ocorrer rapidamente após a

colheita (Wang *et al.*, 2021) e, segundo Jiang (2013), durante o amadurecimento do cogumelo paris ocorrem mudanças metabólicas que promovem a perda da textura.

A Figura 13 demonstra a diminuição da firmeza dos cogumelos nos diferentes tratamentos. A firmeza inicial das amostras de cogumelo paris foi de  $8,81 \pm 0,20$ N. Depois do período de 3 dias de armazenamento, os tratamentos apresentaram redução similar ( $p \geq 0,05$ ) e em comparação ao dia 0, redução significativa ( $p \leq 0,05$ ).

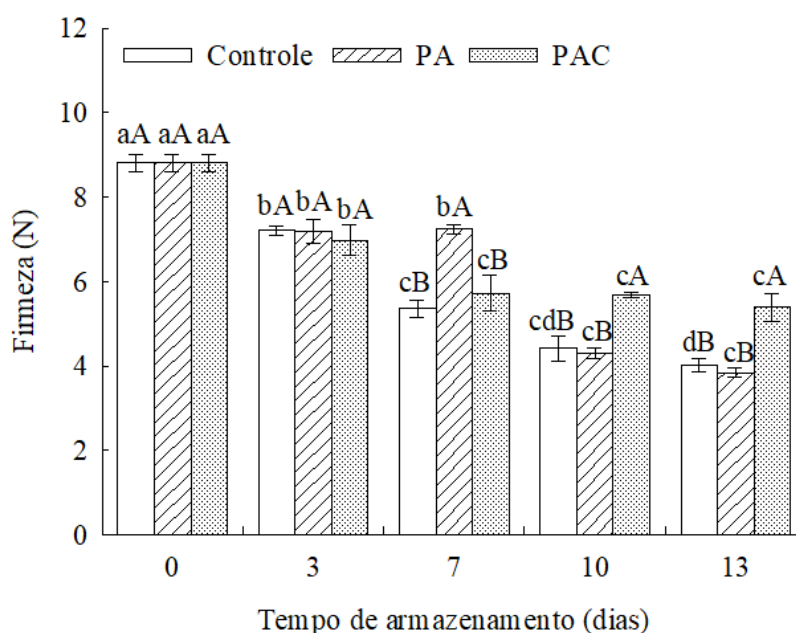


FIGURA 13. Firmeza do chapéu em cogumelo paris armazenado com sachês de conservação. PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Cada ponto de dados é a média de três amostras replicadas. As barras verticais representam os erros padrão das médias. Letras minúsculas representam diferenças significativas entre os dias de armazenamento e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

No sétimo dia, o tratamento de sachês com PA apresentou textura de  $7,24 \pm 0,11$ N, a menor redução de firmeza (18,1%) em relação ao dia inicial, assim, diferindo significativamente ( $p \leq 0,05$ ) dos demais tratamentos. Já os tratamentos controle e sachês com PAC exibiram valores médios de textura de  $5,35 \pm 0,21$  e  $5,72 \pm 0,42$ N, respectivamente, sem diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ) entre eles. Desta forma, após 7 dias

de armazenamento, estes tratamentos apresentaram reduções de firmeza de 39,77 e 35,22%, respectivamente, em comparação ao dia inicial.

O tratamento de sachês com cinamaldeído (PAC), apresentou valores médios de textura de  $5,68 \pm 0,06\text{N}$  (dia 10) e  $5,39 \pm 0,33\text{N}$  (dia 13). Os tratamentos controle e sachês com PA, ao final do período de armazenamento (10 e 13 dias), foram estatisticamente iguais e com médias de textura de  $4,02 \pm 0,16$  e  $3,83 \pm 0,10\text{N}$ , respectivamente. Desta forma, no décimo-terceiro dia de armazenamento, os tratamentos controle, sachês com PA e sachês com PAC obtiveram sua textura reduzida em 54,31, 56,47 e 38,75% em comparação ao dia inicial. Assim, podemos observar que a textura das amostras de cogumelos decaiu independentemente dos tratamentos aplicados.

Zivanovic, Busher e Kim (2000) observaram mudanças estruturais e de composição de *A. bisporus* relacionadas às alterações da textura após a colheita, tais como: aumento do espaço intercelular na superfície do píleo, contração das hifas, ruptura do vacúolo central e a perda de proteínas e polissacarídeos. Os autores também relataram que o extravasamento do citoplasma e o colapso celular podem decorrer da degradação das paredes celulares das hifas por ação de autolisinas endógenas ou enzimas bacterianas. López-Gómez *et al.* (2021), também descreveram que durante o armazenamento ocorre a redução da força de cisalhamento de cogumelos paris fatiados, possivelmente devido à degradação tecidual que decorre dos processos de senescência e de deterioração microbiana das amostras.

Alguns autores estudaram formas de retardar o processo de redução de firmeza. Assim, Gao, Feng e Jiang (2014) e Jiang, Luo e Ying (2015) avaliaram o efeito da fumigação de três óleos essenciais distintos, em cogumelos paris e shitake, respectivamente. Os autores observaram que a menor redução da firmeza ocorreu nos cogumelos tratados com cinamaldeído. Esse estudo poderia indicar que a aplicação de cinamaldeído atuou na

manutenção da firmeza dos cogumelos, e conseqüentemente promoveu efeitos positivos na qualidade dos cogumelos armazenados.

Durante a maturação dos produtos hortícolas ocorre a degradação dos carboidratos poliméricos dos tecidos, o que ocasiona o enfraquecimento das paredes celulares e das forças coesivas que unem as células e proporcionam a redução da firmeza (Wills e Golding, 2016). Processo semelhante pode ocorrer nos cogumelos, conforme estudos de Ni *et al.* (2017) e Wang *et al.* (2021), esses autores identificaram diferenças nas concentrações de celulose e quitina no tecido dos cogumelos, durante o armazenamento. Assim, Wang *et al.* (2021) descreveram que a complexa relação entre os componentes da parede celular e as mudanças metabólicas dinâmicas, associadas às mudanças de textura, ainda não foram bem caracterizadas para os cogumelos.

O tratamento de sachês com alginato de sódio (PA) apresentou textura similar ao controle no décimo e décimo-terceiro dia de armazenamento. Todavia, o tratamento de sachês com cinamaldeído (PAC) manteve textura superior ao controle, no mesmo período, cujo efeito possivelmente está relacionado ao cinamaldeído.

### **4.3 Efeito dos sachês sobre a cor dos cogumelos**

A descoloração (escurecimento) é um importante parâmetro de qualidade na pós-colheita de cogumelos paris (Nunes; Emond, 2007). O processo de escurecimento enzimático em *A. bisporus* decorre da atividade da enzima polifenoloxidase (PPO) ao oxidar os substratos fenólicos para quinonas, e as reações subsequentes levam à formação de melaninas (Jolivet *et al.*, 1998; Lin; Sun, 2019). A cor do cogumelo paris é fator de fundamental importância na decisão de compra dos produtos pelos consumidores (Jiang, 2013). Assim, a coloração externa do píleo de cogumelo paris foi monitorada durante a conservação refrigerada mediante os seguintes parâmetros: deltaE ( $\Delta E$ ), luminosidade ( $L^*$ ), índice de escurecimento (BI), hue ( $H^\circ$ ) e croma ( $C^*$ ).

De acordo com os resultados da Tabela 2, diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) foram observadas entre os tratamentos de conservação e os dias de armazenamento para a variação total de cor ( $\Delta E^1$ ) e diferença total de cor ( $\Delta E^2$ ). Ambos os  $\Delta E$  aumentaram durante o período de armazenamento.

TABELA 2. Variação total de cor ( $\Delta E^1$ ) e diferença total de cor ( $\Delta E^2$ ) em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.

Tratamentos	Variação total de cor ( $\Delta E^1$ )	Diferença total de cor ( $\Delta E^2$ )
0 d		
Controle	12,8 ± 0,20 eA	-
PA	12,8 ± 0,20 dA	-
PAC	12,8 ± 0,20 dA	-
3 d		
Controle	17,1 ± 0,63 dA	4,9 ± 0,34 dA
PA	16,8 ± 0,50 cA	5,8 ± 0,24 cA
PAC	13,9 ± 0,30 dB	1,7 ± 0,56 cB
7 d		
Controle	21,1 ± 0,73 cB	9,7 ± 0,82 cB
PA	23,1 ± 0,35 bA	12, ± 0,59 bA
PAC	18,6 ± 0,37 cC	6,2 ± 0,34 bC
10 d		
Controle	23,8 ± 0,63 bA	12,7 ± 1,06 bA
PA	23,9 ± 0,27 bA	12,6 ± 1,23 bA
PAC	24,6 ± 0,24 bA	13,4 ± 0,40 aA
13 d		
Controle	31,2 ± 0,52 aA	20,5 ± 1,10 aA
PA	28,9 ± 0,17 aB	17,8 ± 0,40 aA
PAC	26,4 ± 0,21 aC	14,9 ± 1,18 aB

$\Delta E^1$  – compara ao valor ideal;  $\Delta E^2$  – compara com o dia 0. PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Os dados são expressos como a média ± erro padrão ( $n = 3$ ). Letras minúsculas representam diferenças significativas entre os dias de armazenamento e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A variação total de cor ( $\Delta E^1$ ) indica a magnitude de diferença na cor no pílculo do cogumelo paris entre a amostra e a amostra padrão (Pathare; Opara; Al-Said, 2013). Assim, os cogumelos quando comparados aos valores ideais de cor ( $\Delta E^1$ ) de cogumelo paris, apresentaram valor médio inicial de 12,8±0,20, demonstrando que os cogumelos paris usados no preparo das embalagens apresentavam coloração distinta ao padrão



recomendável de coloração. Ao final do período de conservação (13 dias), os tratamentos controle, sachês de PA e PAC apresentaram valores médios de  $31,2\pm 0,5$ ,  $28,9\pm 0,1$  e  $26,4\pm 0,2$ , respectivamente. Desta forma, o tratamento de sachês com cinamaldeído (PAC) apresentou a menor variação de cor durante o armazenamento de 13 dias.

A diferença total de cor ( $\Delta E^2$ ) compara os parâmetros de cor obtidos após o armazenamento com os valores obtidos no dia inicial de conservação (Xu *et al.*, 2016). Deste modo, aos 3 dias de armazenamento, os cogumelos do tratamento controle e PA apresentavam diferença total de cor de  $4,9\pm 0,34$  e  $5,8\pm 0,24$ , respectivamente. Já o tratamento de sachês com PAC apresentou valores médios de  $1,7\pm 0,56$ . Nos dias 7 e 13 de armazenamento, o tratamento PAC apresentou a menor ( $p\leq 0,05$ ) diferença total de cor de  $6,2\pm 0,34$  e  $14,9\pm 1,18$ , respectivamente, quando em comparação aos demais tratamentos. No décimo dia de armazenamento, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas ( $p\geq 0,05$ ) em relação a  $\Delta E^2$ .

Segundo Pathare, Opara e Al-Said (2013), os valores de diferença total de cor ( $\Delta E^2$ ) indicam analiticamente o quanto uma amostra é distinta do padrão inicial, assim, amostras muito distintas apresentam  $\Delta E^2$  superior a 3 ( $\Delta E > 3$ ), amostras distintas exibem  $\Delta E^2$  entre 1,5 e 3 ( $1,5 < \Delta E < 3$ ) e amostras pouco distintas manifestam  $\Delta E^2$  inferior a 1,5 ( $1,5 < \Delta E$ ). Desta forma, aos 3 dias de armazenamento, o tratamento de sachês com PAC apresentou cogumelos com coloração pouco distintas ( $1,7\pm 0,56$ ), indicando que o consumidor notaria pouca diferença visual de coloração após esse período de armazenamento. Além disso, os cogumelos do tratamento PAC apresentaram a menor ( $p\leq 0,05$ ) diferença total de cor durante o armazenamento, exceto no dia 10.

Na Tabela 3, demonstram-se os demais parâmetros de cor dos cogumelos paris. Foram observadas diferenças significativas ( $p\leq 0,05$ ) entre os tratamentos de conservação e os dias de armazenamento. De forma geral, se observa a redução da luminosidade ( $L^*$ ) e hue ( $H^\circ$ ), enquanto o índice de escurecimento (BI) e croma ( $C^*$ ) apresentaram aumento.

TABELA 3. Parâmetros de cor avaliados em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.

Tratamentos	Luminosidade (L*)	Índice de escurecimento (BI)	Hue (H°)	Croma (C*)
0 d				
Controle	92,3 ± 0,22 aA	12,6 ± 0,23 dA	88,4 ± 0,32 aA	11,8 ± 0,09 dA
PA	92,3 ± 0,22 aA	12,6 ± 0,23 eA	88,4 ± 0,32 aA	11,8 ± 0,09 dA
PAC	92,3 ± 0,22 aA	12,6 ± 0,23 dA	88,4 ± 0,32 aA	11,8 ± 0,09 cA
3 d				
Controle	89,4 ± 0,34 bB	17,2 ± 0,47 cA	86,6 ± 0,43 bB	14,7 ± 0,37 cA
PA	88,5 ± 0,41 bB	18,2 ± 0,41 dA	86,6 ± 0,28 bB	14,6 ± 0,27 cA
PAC	91,2 ± 0,42 aA	13,8 ± 0,35 dB	87,9 ± 0,40 aA	12,9 ± 0,47 cB
7 d				
Controle	86,1 ± 0,34 cB	24,7 ± 0,55 bA	84,3 ± 0,33 cB	18,3 ± 0,65 bA
PA	84,1 ± 0,51 cC	24,7 ± 0,45 cA	83,4 ± 0,24 cB	17,8 ± 0,31 bA
PAC	87,9 ± 0,38 bA	19,7 ± 0,37 cB	87,6 ± 0,41 aA	16,0 ± 0,42 bB
10 d				
Controle	83,9 ± 0,47 dA	25,8 ± 0,11 bB	83,9 ± 0,30 cAB	19,6 ± 0,27 bA
PA	82,1 ± 0,47 dB	27,4 ± 0,51 bA	83,2 ± 0,39 cB	19,7 ± 0,38 aA
PAC	82,2 ± 0,37 cB	28,8 ± 0,51 bA	84,7 ± 0,02 bA	19,2 ± 0,42 aA
13 d				
Controle	73,9 ± 0,62 eC	35,6 ± 0,22 aA	80,2 ± 0,57 dB	21,8 ± 0,18 aA
PA	76,4 ± 0,37 eB	30,5 ± 0,42 aB	81,2 ± 0,23 dB	21,1 ± 0,24 aAB
PAC	80,1 ± 0,53 dA	30,5 ± 0,41 aB	83,3 ± 0,15 bA	20,4 ± 0,30 aB

PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Os dados são expressos como a média ± erro padrão (n=3). Letras minúsculas representam diferenças significativas entre os dias de armazenamento e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Dos parâmetros analisados quanto à coloração, o valor de luminosidade (L\*) está relacionado à luminosidade do produto variando de 100 a 0. O valor de 100 indica a total reflexão do feixe luminoso, enquanto o valor de 0 indica nenhuma reflexão (preto). Nesse sentido, foi observada a redução na luminosidade ( $p \leq 0,05$ ) em todos os tratamentos durante o armazenamento. No entanto, nos tratamentos controle e PA, uma acentuada redução do L\* foi observada, sendo que ambos são estatisticamente inferiores ( $p \leq 0,05$ ) ao tratamento de sachês com PAC.

A luminosidade do tratamento controle diminuiu de  $92,3 \pm 0,2$  para  $73,9 \pm 0,6$ , após 13 dias de armazenamento, o que pode estar relacionado à atuação de enzimas responsáveis

pelo escurecimento enzimático. O tratamento de sachês com cinamaldeído (PAC) apresentou o maior valor de  $L^*$  ( $80,1 \pm 0,5$ ) ao final do período de armazenamento (dia 13), além disso, observa-se uma redução significativa ( $p \leq 0,05$ ) de luminosidade a partir do sétimo dia de conservação. Nos demais tratamentos, observam-se reduções significativas ( $p \leq 0,05$ ) após o terceiro dia de armazenamento.

De acordo com a classificação proposta por Briones *et al.* (1992), cogumelos paris frescos de boa qualidade visual apresentam valores de  $L^*$  entre 85,5 e 90, enquanto cogumelos com valores de  $L^*$  inferiores a 80 são considerados de baixa qualidade e comercialmente inaceitáveis. Nesse contexto, os tratamentos controle e PA, após 13 dias, seriam classificados como de baixa qualidade e fora do padrão de comercialização. Cabe destacar que o tratamento de sachês com PAC (cinamaldeído) estaria no limite de comercialização, por apresentar valores de luminosidade de  $80,1 \pm 0,5$ , ao final do período de conservação.

O índice de escurecimento (BI) avalia o escurecimento enzimático e não enzimático e representa a pureza da cor marrom (Palou *et al.*, 1999). Portanto, o aumento do valor BI significa maior grau de escurecimento (Wang *et al.*, 2015). Os cogumelos do presente estudo apresentaram valores iniciais de  $12,6 \pm 0,2$ . Durante todo o armazenamento, o tratamento controle apresentou os maiores valores de BI em comparação às amostras armazenadas com sachês de PAC, com exceção ao décimo dia. Até o sétimo dia, os cogumelos paris do tratamento de sachês com PAC apresentaram menor escurecimento do chapéu em comparação aos demais tratamentos ( $p \leq 0,05$ ). No décimo-terceiro dia de armazenamento, os sachês de conservação (PA e PAC) apresentaram valores de BI médios de  $30,5 \pm 0,41$  e os maiores valores foram observados no tratamento controle ( $35,6 \pm 0,2$ ).

O hue ( $H^\circ$ ) representa a tonalidade da cor, quanto mais elevado o ângulo de hue menor será a cor amarela na amostra analisada (Pathare; Opara; Al-Said, 2013). Os valores de  $H^\circ$  diminuíram em todos os tratamentos durante o armazenamento, indicando perda de

tonalidade dos cogumelos paris. Os tratamentos controle e PA não apresentaram diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ) em relação a esse parâmetro durante a conservação. Além disso, após o terceiro dia de armazenamento, uma diminuição significativa ( $p \leq 0,05$ ) do parâmetro de cor  $H^\circ$  foi observada em ambos os tratamentos. Entretanto o tratamento de sachês com PAC (cinamaldeído) apresentou um comportamento diferente, já que diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) na tonalidade da cor dos cogumelos foram observadas somente após 10 dias de conservação. Assim, os cogumelos conservados com o cinamaldeído (PAC) se apresentavam menos amarelados.

O aumento do valor de croma ( $C^*$ ) indica um aumento da intensidade da cor do alimento analisado, tornando-o mais perceptível aos humanos. Além disso, pode ser associado ao escurecimento enzimático (Pathare; Opara; Al-Said, 2013). Os valores médios de  $C^*$  aumentaram em todos os tratamentos ao longo do armazenamento. Os tratamentos controle e PA não apresentaram diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ) durante o armazenamento, porém o tratamento de sachês com PAC apresentou menor intensidade de cor até o sétimo dia de armazenamento.

Jiang *et al.* (2011) investigaram a aplicação de óxido nítrico em integração com a modificação passiva da atmosfera (MAP) em *A. bisporus*. Ao final do armazenamento, os autores observaram que os cogumelos do controle apresentaram os menores valores de  $L^*$  e os maiores de  $\Delta E$  e BI em comparação ao demais tratamentos. Assim, os tratamentos inibiram o escurecimento dos cogumelos paris. Resultados semelhantes foram encontrados por Wang *et al.* (2015) após observarem o efeito de diferentes concentrações de glicina betaína exógena em *A. bisporus*. Nesse estudo, após 12 dias de armazenamento, os cogumelos tratados com glicina apresentaram os maiores valores de  $L^*$  e os menores valores de BI. Esses resultados indicaram que a glicina betaína desempenhou um papel positivo no retardamento do escurecimento dos cogumelos durante o armazenamento.

Diversas características e processos favorecem o aumento da atividade enzimática, intensificam o escurecimento enzimático e acarretam em consequências diretas na coloração dos cogumelos. Podemos citar alguns, como: a fina cutícula de proteção contra a atuação microbiana, a perda de água (Diamantopoulou; Philippoussis, 2015; Gao; Feng; Jiang, 2014; Jiang; Feng; Zheng, 2012), os danos mecânicos e a baixa umidade relativa do ar. As características mencionadas induzem o colapso de membranas intracelulares e o contato entre substratos e enzimas (Lin; Sun, 2019; Zivanovic; Busher; Kim, 2000). Desta forma, a descoloração (escurecimento) do chapéu dos cogumelos é favorecida durante o armazenamento.

No estudo de Echegoyen e Nerín (2015), a atuação de dois papéis ativos, contendo óleo essencial de canela, em embalagens de *A. bisporus* armazenadas a 8 °C foi verificada. O estudo identificou que a concentração inibitória média (IC50) de 4,73 mmol/L de cinamaldeído foi capaz de promover a inibição dose-dependente da oxidação da L-DOPA, ou seja, a inibição da enzima polifenoloxidase (PPO). Os autores observaram diminuição do escurecimento do tecido do chapéu de *A. bisporus* com a presença do cinamaldeído na atmosfera protetora, fornecida pelo papel ativo contendo o óleo essencial de canela.

A utilização dos sachês com cinamaldeído (PAC) durante o armazenamento de cogumelos paris, possivelmente atuou na inibição do escurecimento enzimático, mantendo a qualidade e o valor comercial por período maior, sobretudo até o sétimo dia de armazenamento.

#### **4.4 Efeito dos sachês sobre a análise sensorial**

A aparência visual geral dos cogumelos é o atributo de qualidade de maior importância no momento da compra (López-Gómez *et al.*, 2021). Portanto, a presença de zonas escuras no chapéu dos cogumelos é um atributo de qualidade visual que deve ser avaliado. Além disso, a intensidade de aroma das amostras de cogumelos, assim como a intensidade do

aroma de cinamaldeído presente nos cogumelos conservados com os sachês com cinamaldeído (PAC), são atributos sensoriais de grande importância.

Os atributos sensoriais avaliados, tais como aparência visual geral, ausência de zonas escuras no chapéu e intensidade de aroma, diminuíram com o avanço do período de armazenamento, em todos os tratamentos. Na Figura 14 apresentam-se os resultados da análise sensorial. Os resultados numéricos estão disponíveis no apêndice B.

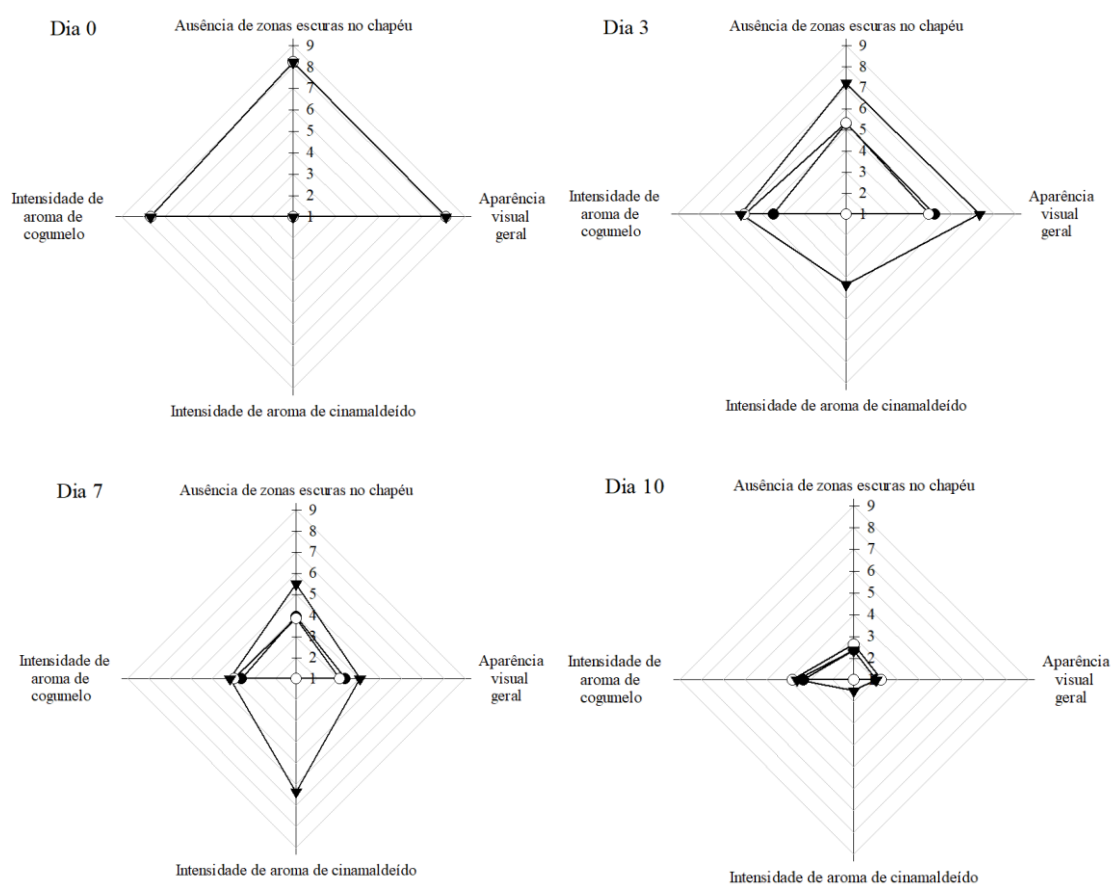


FIGURA 14. Análise sensorial em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação. Tratamento controle (●), sachê de esferas de alginato de sódio (○) e sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído (▲). Cada ponto de dados é a média de três amostras replicadas. Aparência visual geral: 9 = excelente, 7 = muito boa, 5 = boa e ao limite da comercialização, 3 = pobre e ao limite da usabilidade, e 1 = pobre e não comestível. Ausência de zonas escuras no chapéu: 9 = sem escurecimento, 7 = leve a moderado, 5 = moderado, 3 = moderado a severo, e 1 = severo. Intensidade de aroma de cogumelo: 9 = aroma típico completo, 7 = moderadamente completo, 5 = moderado, 3 = pobre, e 1 = nenhum. Intensidade de aroma de cinamaldeído: 9 = intenso, 7 = forte, 5 = moderado, 3 = pobre, e 1 = nenhum.

No dia 0, os cogumelos paris foram avaliados sensorialmente com o objetivo de obter dados de comparação para as análises posteriores, assim, na pontuação dos atributos de qualidade visual, os cogumelos foram classificados com aparência visual geral entre excelente e muito boa. Além disso, os cogumelos apresentaram leve ausência de zonas escuras no chapéu e aroma de alta intensidade.

Em relação à aparência visual geral e à ausência de zonas escuras no chapéu, diferenças entre os tratamentos controle e PA e o tratamento PAC foram observadas aos 3 e 7 dias de conservação. Assim, no terceiro dia de armazenamento, os tratamentos controle e PA foram classificados no limite de comercialização e com moderadas zonas escuras. Ao sétimo dia, os mesmos tratamentos foram classificados ao limite de usabilidade (comestível), apresentando escurecimento do chapéu entre moderado a severo.

No tratamento de sachês com PAC, após 3 dias de armazenamento, a aparência visual geral dos cogumelos foi avaliada como muito boa e com escurecimento entre leve a moderado, colaborando com os resultados obtidos na diferença total de cor ( $\Delta E^2$ ). No sétimo dia, a avaliação sensorial dos cogumelos conservados com cinamaldeído foi adequada, apresentando escurecimento moderado e entre os limites de comercialização e de usabilidade. Após 10 dias de armazenamento, todos os tratamentos apresentaram avaliação sensorial similar, com pontuações abaixo dos limites de aceitação, indicando que as amostras apresentavam inadequada qualidade visual nesse dia de avaliação.

Gao, Feng e Jiang (2014) avaliaram o efeito da fumigação de óleos essenciais de cravo, cinamaldeído e tomilho em *A. bisporus*. Esses autores observaram que a fumigação de cinamaldeído e tomilho foi efetiva em manter a aceitabilidade global, baseada nos atributos de cor, textura e porcentagem de chapéu aberto dos cogumelos. As amostras do tratamento controle (sem fumigação) foram classificadas como inaceitáveis após 12 dias de armazenamento, enquanto as amostras fumigadas com cinamaldeído e tomilho estavam em

condições de comercialização no mesmo período, assim como, ainda apresentaram aceitabilidade sensorial após 16 dias de armazenamento.

Resultados semelhantes foram encontrados por Fattahifar *et al.* (2018) ao avaliarem as características do extrato de casca verde de pistache e sua impregnação a vácuo em *A. bisporus*. Os autores identificaram que o extrato tem efeito de inibição da enzima polifenoloxidase (PPO) e os cogumelos tratados com o extrato apresentaram pontuações mais altas de aparência visual geral e brancura, quando em comparação com o controle, após 10 dias de armazenamento a 4°C.

Em relação à intensidade de aroma dos cogumelos, perdas de aroma foram observadas após 3 dias de conservação. O tratamento controle apresentou as maiores diminuições na intensidade de aroma, sendo classificados como aroma moderado a pobre, após 7 dias de armazenamento. Já nos cogumelos conservados com os sachês (PA e PAC), a intensidade de perda de aroma foi menor em relação ao tratamento controle aos 3 e 7 dias de armazenamento.

O aroma de cinamaldeído foi perceptível nos cogumelos armazenados com os sachês com cinamaldeído (PAC) em todos os dias avaliados e em intensidades distintas. Após 3, 7 e 10 dias de armazenamento, o aroma de cinamaldeído foi classificado como moderado, forte e pobre, respectivamente. Segundo relatos dos painelistas, o aroma apresentava uma maior intensidade no estipe, visto que o sachê com cinamaldeído esteve em contato direto com essa estrutura. Além disso, o aroma de cinamaldeído emanado dos cogumelos não provocou desagrado aos painelistas.

O aroma e o sabor característicos das frutas e verduras dependem da concentração adequada de determinados compostos de baixa massa molar que possuem alguma volatilidade à temperatura ambiente. À medida que a maturação avança, ocorrem mudanças na concentração e nos tipos de compostos orgânicos voláteis (Wills e Golding, 2016), provocando as alterações sensoriais de aroma e sabor.



No trabalho de López-Gómez *et al.* (2021), o uso de embalagem sob atmosfera modificada (MAP) em conjunto com duas concentrações diferentes de vapor do mix de óleos essenciais que continham eugenol, bergamota e toranja foi avaliado em *A. bisporus* fatiados. De acordo com os autores, as amostras do controle apresentaram aroma pobre entre 9 e 12 dias, enquanto as amostras tratadas com o mix de óleos essenciais apresentaram aroma avaliado sensorialmente como moderado.

Fattahifar *et al.* (2018), impregnaram extrato de casca verde de pistache em *A. bisporus*. Em seus resultados, os autores descrevem que os cogumelos impregnados apresentaram as pontuações mais altas de sabor e aroma em comparação ao controle, após 10 dias de armazenamento a 4°C. Nasiri *et al.* (2018) aplicaram goma de tragacanto impregnada com óleo essencial de *Satureja khuzistanica* em *A. bisporus*. Após 8 dias de armazenamento, os autores observaram nas amostras controle, a presença de aroma estranho, enquanto não foram observados aromas estranhos nas amostras tratadas com o óleo essencial.

Nos trabalhos citados anteriormente e no presente trabalho, observa-se que as maiores alterações na intensidade de aroma do cogumelo paris ocorreram nas amostras controle, o que pode estar relacionado ao processo natural de maturação do produto fresco. A utilização dos óleos essenciais, extratos e dos sachês de PA e PAC, até o sétimo dia de conservação, pode ter atuado sobre os compostos orgânicos voláteis, que são os responsáveis em provocar as alterações sensoriais do aroma.

O tratamento com sachê de PA apresentou a mesma pontuação que o tratamento controle para todos os atributos sensoriais avaliados, com exceção ao aroma de cogumelo. Desta forma, o sachê de esfera de alginato não atuou positivamente na aparência visual geral e na coloração dos cogumelos paris. Cabe destacar que os cogumelos do tratamento de sachês com cinamaldeído (PAC) apresentaram maiores pontuações de aparência visual geral, assim como, menor escurecimento do chapéu, o que está relacionado diretamente

com os maiores valores de luminosidade ( $L^*$ ) e menor índice de escurecimento (BI) observados.

Além disso, na avaliação da aparência visual geral, outros parâmetros relacionados com a desidratação dos cogumelos tais como, murchamento e o enrugamento do chapéu foram considerados. Nesse sentido, os dados de massa fresca condizem com os dados da análise sensorial, pois os tratamentos do controle e PA apresentaram a pior aparência visual geral e os maiores valores de perda de massa, enquanto o tratamento de sachês com cinamaldeído (PAC) apresentaram as menores médias de perda de massa fresca e as maiores pontuações de aparência visual geral.

#### **4.5 Efeito dos sachês sobre a abertura do chapéu**

A coloração do himênio e a abertura do chapéu estão altamente correlacionadas com a maturidade e a qualidade do cogumelo (Van Loon *et al.*, 1995). Assim, Nunes (2008) considerou que a abertura completa do chapéu ocorre quando há ruptura total do véu, expondo o himênio escuro logo abaixo. Desta forma, a abertura do chapéu é um sinal de envelhecimento e indica a perda da qualidade do cogumelo.

A Figura 15 apresenta o comportamento de abertura do chapéu dos cogumelos e observam-se diferenças estatísticas ( $p \leq 0,05$ ) entre o tempo de armazenamento e os tratamentos avaliados. Após a avaliação dos resultados, observa-se que independente do tratamento, quanto mais progride o tempo de armazenamento, maior a porcentagem de chapéu aberto ( $p \leq 0,05$ ). Esse comportamento está altamente correlacionado com a maturidade do cogumelo, e conseqüentemente com a liberação dos esporos (Van Loon *et al.*, 1995).

Nos dias 3 e 7 de armazenamento, o tratamento de sachês com PA apresentou valores intermediários e estatisticamente iguais ( $p \geq 0,05$ ) de abertura de chapéu aos tratamentos controle e PAC. Enquanto ao décimo e décimo-terceiro dias de armazenamento, os

tratamentos controle e sachês com PA não diferiram estatisticamente ( $p \geq 0,05$ ), apresentando ao final do período de armazenamento (13 dias), médias de abertura de chapéu de  $62,67 \pm 1,59\%$  e  $65,56 \pm 2,94\%$ , respectivamente. O tratamento controle apresentou as maiores médias (%) de chapéu aberto durante todo o armazenamento refrigerado.

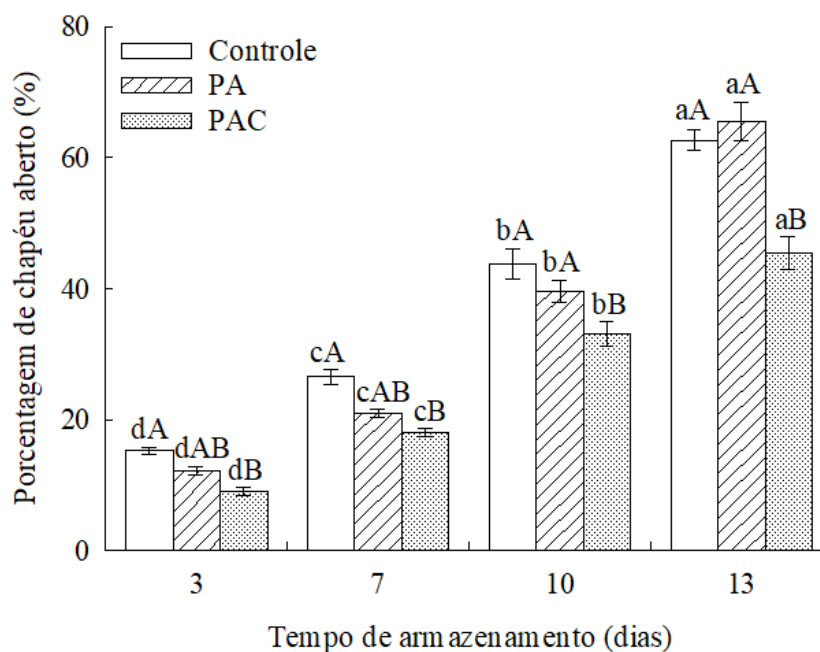


FIGURA 15. Porcentagem de chapéu aberto em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação. PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Cada ponto de dados é a média de três amostras replicadas. As barras verticais representam os erros padrão das médias. Letras minúsculas representam diferenças significativas entre os dias de armazenamento e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Cabe destacar que o tratamento de sachês com PAC apresentou médias em porcentagem de chapéu aberto estatisticamente inferiores ( $p \leq 0,05$ ) ao tratamento controle, em todos os dias de conservação, com médias de  $9,04 \pm 0,61$ ,  $18,06 \pm 0,58$ ,  $33,12 \pm 1,84$  e  $45,43 \pm 2,57\%$ , respectivamente, após 3, 7, 10 e 13 dias de armazenamento. Desta forma, o tratamento de sachê com PAC (cinamaldeído) pode ter retardado o processo de abertura do chapéu.

Resultados semelhantes, em relação à porcentagem de abertura de chapéu, foram encontrados por Wang *et al.* (2015) ao testarem o efeito de diferentes concentrações de glicina betaína exógena em *A. bisporus*. Após 12 dias de armazenamento, de acordo com os autores, o tratamento de 2,5 mM de glicina betaína apresentou 53,5% de chapéu aberto, o menor percentual em comparação com os demais tratamentos.

Nasiri *et al.* (2019) investigaram o efeito do uso de revestimento de goma de tragacanto (*Astragalus spp.*), individualmente e/ou em combinação com óleo essencial de *Zataria multiflora* Boiss e *Satureja khuzistanica* em *A. bisporus*. Após 12 dias de conservação, a porcentagem média de chapéu aberto no tratamento controle foi de 64,5%, enquanto para as amostras revestidas e conservadas com os óleos essenciais, entre 51,1 e 57,0%.

A abertura do chapéu está relacionada a desidratação do tecido que ocorre durante o armazenamento. Pois as forças coesivas da água e de outras moléculas hidrofílicas presentes no tecido garantem a posição intacta do chapéu e do véu nos cogumelos, porém, a perda de água que ocorre durante o armazenamento provoca a diminuição das forças coesivas da água e entre as moléculas provocando a abertura do chapéu (Nasiri *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2015).

Os tratamentos controle e de sachês com PA apresentaram as maiores porcentagens de chapéu aberto. Fato que pode estar relacionado com as maiores perdas de massa fresca observadas no presente experimento. Por outra parte, o tratamento de sachê com cinamaldeído (PAC) apresentou as menores porcentagens de abertura do chapéu, assim como, a menor perda de massa fresca.

#### **4.6 Efeito dos sachês sobre a razão do estipe**

As características do estipe (diâmetro e comprimento) estão relacionadas à maturidade do cogumelo e são influenciadas pelo tamanho inicial do cogumelo, pela temperatura e

umidade relativa do ar durante o armazenamento (Nunes, 2008). Na Figura 16 demonstra-se a razão entre comprimento e diâmetro do estipe dos cogumelos e observam-se diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os dias e tratamentos.

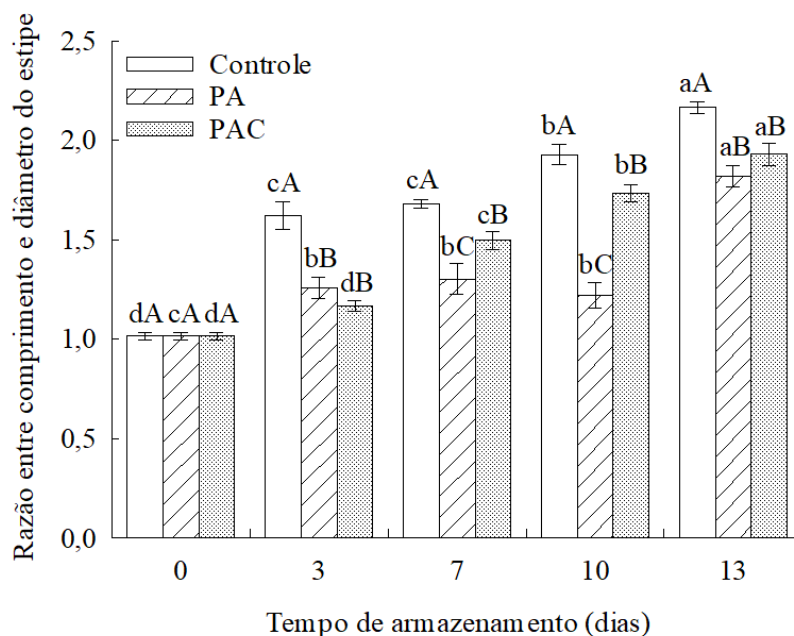


FIGURA 16. Razão entre o comprimento e diâmetro do estipe em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação. PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Cada ponto de dados é a média de três amostras replicadas. As barras verticais representam os erros padrão das médias. Letras minúsculas representam diferenças significativas entre os dias de armazenamento e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

No dia 0, os cogumelos paris apresentaram comprimento e diâmetro médio do estipe de 1,4 cm, ou seja, razão de  $1,01 \pm 0,02$ . Durante o período de armazenamento, a maior razão do estipe ocorreu no tratamento controle, sendo assim, no décimo-terceiro dia, o tratamento controle apresentou a razão do estipe de  $2,16 \pm 0,02$ . Enquanto, para o mesmo dia, os tratamentos PA e PAC apresentaram razões, estatisticamente iguais ( $p \geq 0,05$ ), de  $1,81 \pm 0,05$  e  $1,92 \pm 0,05$ , respectivamente.

Nos tratamentos controle e sachês com PA, a razão do estipe do terceiro dia foi estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) ao dia 0. No controle, o terceiro e o sétimo dia foram

iguais estatisticamente ( $p \geq 0,05$ ) e o décimo foi superior ( $p \leq 0,05$ ) ao sétimo. Entre o terceiro e décimo dia, se observa a estabilização da razão dos cogumelos conservados com sachês de PA, assim, nestes dias, não foram detectadas diferenças estatísticas ( $p \geq 0,05$ ).

O tratamento de sachês com PAC apresentou igualdade estatística ( $p \geq 0,05$ ) entre os dias 0 e 3. Além disso, à medida que o tempo de armazenamento avançava, maior foi a razão do estipe ( $p \leq 0,05$ ). Os tratamentos de sachês com PA e PAC foram estatisticamente distintos ( $p \leq 0,05$ ) nos dias 7 e 10, pois o tratamento PAC teve razão superior.

Ao realizar a comparação entre o dia 0 e 13 de armazenamento, podemos observar que os tratamentos controle, PA e PAC apresentaram variação percentual de aumento de aproximadamente 113,20, 79,11, e 90,11%, respectivamente, indicando que ocorreu uma alteração das características do estipe em todos os tratamentos, porém a maior alteração da razão do estipe ocorreu no tratamento controle. Assim, em comparação ao dia 0, após 13 dias, as medidas de comprimento e diâmetro se modificaram.

As alterações das características do estipe (diâmetro e comprimento) ao longo do armazenamento podem ser atribuídas à desidratação dos tecidos e crescimento do estipe. Como descrito por Gao, Feng e Jiang (2014) e Nasiri *et al.* (2018), os cogumelos apresentam uma fina estrutura epidérmica de proteção que proporciona a rápida desidratação da superfície.

Na produção de cogumelos paris frescos, os cogumelos são colhidos em estágio imaturo e sem a total expansão da região apical do estipe, desta forma, há possibilidade de ocorrer alongação e divisão das células nessa região (Craig; Gull; Wood, 1977). Assim, a porção apical do estipe de cogumelos embalados pode apresentar alongamento durante o armazenamento e proporcionar a alteração da razão do estipe.

Outro fator a considerar é a temperatura de conservação, já que a temperatura de armazenamento de  $9 \pm 1^\circ\text{C}$ , utilizada no presente estudo, pode ter favorecido o aumento do comprimento do estipe em todos os tratamentos. Segundo Kang, Park e Lee (2001),

temperaturas entre 10 e 15°C aceleraram a alongação do estipe de cogumelos Enokitake (*Flammulina velutipes*) em comparação aos cogumelos armazenados a 5°C.

No tratamento de sachês com PAC (cinamaldeído) foram observadas as menores razões do estipe quando em comparação ao controle. Os resultados estatísticos similares ( $p \geq 0,05$ ) entre os tratamentos PA e PAC, podem ter decorrido do uso das esferas íe alginato de sódio úmidas, pois as esferas possivelmente disponibilizaram uma fonte de umidade no interior da embalagem. Já os resultados estatisticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) que ocorreram entre os mesmos tratamentos (PA e PAC) podem ser resultado do contato entre os estipes dos cogumelos paris e o sachê com cinamaldeído (PAC).

Qu *et al.* (2019) ao tratar sementes de milho inoculadas com *Aspergillus flavus* com diferentes concentrações de cinamaldeído detectou a redução da síntese de ergosterol e danos à membrana celular. O ergosterol é o principal esterol presente em leveduras e fungos filamentosos e contribui na fluidez, assimetria e integridade da membrana celular e no funcionamento das enzimas ligadas à membrana (Mota *et al.*, 2012; Lupetti, 2002). Além disso, estudos de Barreira, Oliveira e Ferreira (2014) demonstraram que o cogumelo *A. bisporus* apresentou o segundo maior conteúdo de ergosterol (30,8 mg/100 g de cogumelo fresco) entre espécies cultivadas e selvagens de cogumelos. Nesse sentido, o elevado teor de ergosterol no tecido do cogumelo de paris deve estar associado com funções importantes na membrana celular.

Assim, levando em consideração a proximidade do estipe e do cinamaldeído, observamos que o sachê enriquecido pode ter proporcionado alguma alteração do composto ergosterol e, conseqüentemente, ocasionando as alterações do estipe observadas. Desta forma, o tratamento PAC foi efetivo em reduzir as alterações do diâmetro e comprimento, em comparação ao controle. Entretanto, pouco se conhece sobre as características do estipe (diâmetro e comprimento), assim, mais estudos são necessários para detalhar essas características e o efeito que os óleos essenciais acarretam sobre elas.

#### 4.7 Efeito dos sachês sobre a taxa respiratória dos cogumelos

Na respiração ocorre a quebra oxidativa de moléculas mais complexas (açúcares e ácidos orgânicos) em moléculas mais simples (dióxido de carbono e água), visando à produção de energia e unidades de carbono que podem ser mobilizados pela célula (Wills; Golding, 2016). A respiração é um indicador da atividade metabólica de todos os produtos vivos e tem importante papel na fisiologia pós-colheita e na deterioração da qualidade dos alimentos vegetais (Rahman, 2007). A Tabela 4 exhibe as taxas respiratórias de cogumelos paris e observa-se que houve diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos e dias de armazenamento.

TABELA 4. Taxa respiratória avaliados em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.

Tratamentos	Taxa respiratória (mg CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
0 d	
Controle	104,5 ± 2,38 bA
PA	104,5 ± 2,38 aA
PAC	104,5 ± 2,38 bA
3 d	
Controle	115,1 ± 1,78 aA
PA	100,1 ± 1,48 abC
PAC	107,8 ± 0,71 bB
7 d	
Controle	97,3 ± 1,71 bcA
PA	77,4 ± 0,80 dB
PAC	91,8 ± 1,67 cA
10 d	
Controle	90,4 ± 0,73 cB
PA	85,6 ± 0,68 cdB
PAC	107,2 ± 3,12 bA
13 d	
Controle	105,2 ± 3,72 bB
PA	93,1 ± 1,86 bcC
PAC	132,4 ± 1,85 aA

PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Os dados são expressos como a média ± erro padrão (n = 3). Letras minúsculas representam diferenças significativas entre os dias de armazenamento e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



A taxa respiratória inicial (dia 0) foi de  $104,5 \pm 2,38$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Após 3 dias de armazenamento, em relação à média inicial da taxa respiratória, o tratamento controle apresentou valores estatisticamente superiores ( $p \leq 0,05$ ) aos demais tratamentos. No sétimo dia de conservação, observou-se redução da taxa respiratória de todos os tratamentos. Além disso, os tratamentos controle e PAC não apresentaram diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ) com valores de  $97,3 \pm 1,71$  e  $91,8 \pm 1,67$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente.

No dia 10, o tratamento controle apresentou valores médios de  $90,4 \pm 0,73$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e aos 13 dias,  $105,2 \pm 3,72$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. No entanto, o tratamento de sachês com PAC apresentaram acentuado aumento da taxa respiratória, com valores médios de  $107,2 \pm 3,12$  e  $132,4 \pm 1,85$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para o décimo e décimo-terceiro dia de armazenamento, respectivamente.

O tratamento sachês com PA diferiu estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) dos demais tratamentos por apresentarem as menores taxas de respiração, exceto ao sétimo (PAC) e décimo (controle) dia de armazenamento. Ao final do ensaio (13 dias), a taxa respiratória do tratamento PA foi inferior ( $p \leq 0,05$ ) à taxa inicial, enquanto a do tratamento controle foi próxima.

Os cogumelos apresentam alta taxa respiratória, com valores médios superiores a  $40$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e  $120$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, para as temperaturas de armazenamento de  $10$  e  $20^\circ\text{C}$ , respectivamente, evidenciando que a taxa respiratória dos produtos aumenta significativamente à medida que ocorre elevação na temperatura de armazenamento (Rahman, 2007). De forma geral, a taxa respiratória dos cogumelos Paris deste experimento foram superiores às descritas por Rahman (2007), para o armazenamento a  $10^\circ\text{C}$ .

A taxa respiratória do sétimo dia em relação à do terceiro dia demonstra um declínio de  $15,4$ ,  $22,7$  e  $14,8\%$  nos tratamentos controle, sachês de PA e PAC, respectivamente. Declínio semelhante foi observado por Wang *et al.* (2015) ao testar o efeito de glicina

betaína exógena em *A. bisporus*. Segundo esse estudo, a redução da taxa respiratória pode decorrer de um mecanismo de inibição da atividade enzimática desconhecido. Desta forma, são necessários estudos que visam compreender a respiração em cogumelos e quais efeitos os óleos essenciais podem provocar nesse processo.

O aumento das taxas respiratórias dos tratamentos de sachês com PA e PAC, no sétimo dia e do tratamento controle no dia 10, estão de acordo com os resultados obtidos por Sánchez-González *et al.* (2011a), que descreveram que durante o armazenamento ocorre o aumento da taxa de respiração devido ao aumento da atividade metabólica, que está relacionado à senescência tecidual e o colapso celular.

Na Figura 17, demonstra-se as taxas respiratórias e os modelos matemáticos de regressão não linear obtidos para os tratamentos.

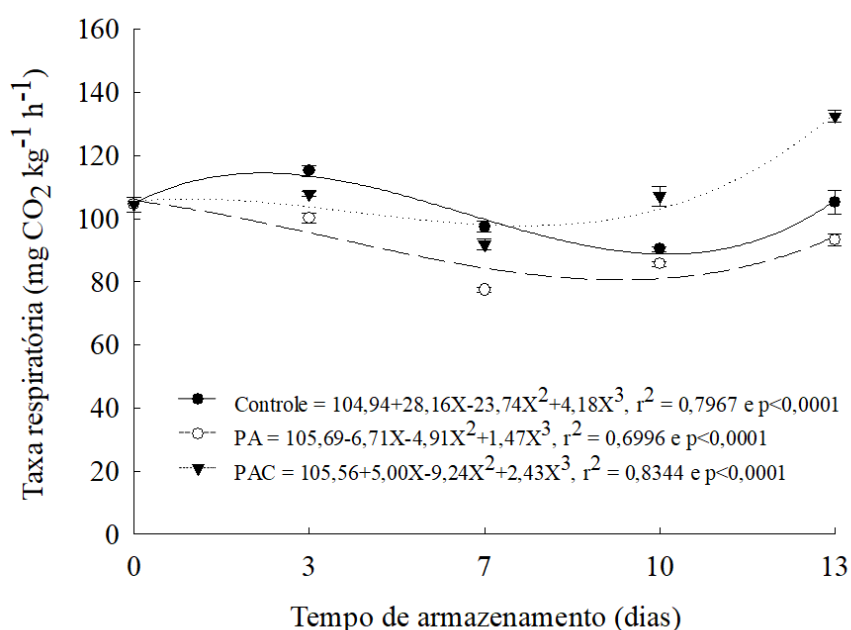


FIGURA 17. Curvas e equações de regressão da taxa respiratória de cogumelos paris armazenados com sachês de conservação. PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Cada ponto de dados é a média de três amostras replicadas. As barras verticais representam os erros padrão das médias.

Assim, observamos que as equações de regressão polinomiais cúbicas foram significativas, houve variação ao longo do tempo ( $p < 0,0001$ ) e o coeficiente de

determinação ajustado foi de 0,7967, 0,6996 e 0,8344 para os tratamentos controle, PA e PAC, respectivamente, ou seja, em torno de 0,79, 0,69 e 0,83 da variação da taxa de respiração pode ser explicada pelos tratamentos avaliados.

Os sachês de conservação influenciaram a taxa respiratória, desta forma o tratamento de sachês com PA foi efetivo em reduzir a taxa respiratória dos cogumelos durante o armazenamento. Possivelmente porque os cogumelos possuem uma fina estrutura epidérmica de proteção (Diamantopoulou; Philippoussis, 2015), que os tornam suscetíveis a pequenas alterações do ambiente. O tratamento de sachês com esferas úmidas de alginato de sódios (PA), possivelmente colaborou com a umidade no interior das embalagens, pois ao realizar a pesagem das esferas constituintes dos sachês PA, podemos observar que houve variação percentual média de  $24,13 \pm 1,33\%$  no peso dos sachês. Embora seja desconhecida a umidade relativa do ar no interior das embalagens, provavelmente, a umidade das esferas favoreceu os cogumelos pois quando em comparação com o tratamento controle.

O tratamento PAC poderia ter expressado resultado semelhante ao tratamento PA, pois exibiram variação percentual média de  $32,24 \pm 1,75\%$  no peso das esferas constituintes dos sachês PAC. Porém, o tratamento de sachês de PAC, no dia 3, apresentou taxa respiratória estatisticamente inferior ( $p \leq 0,05$ ) ao tratamento controle, enquanto o tratamento demonstrou elevação da taxa respiratória, nos dias 10 e 13. Esses resultados possivelmente estão relacionados ao cinamaldeído.

Conforme Namiota e Bonikowski (2021) e Sánchez-González *et al.* (2011b), a fumigação de óleos essenciais proporciona a liberação de compostos voláteis que se difundem através da membrana celular e, como resultado, induzem reações biológicas nos tecidos, assim, alterando parâmetros bioquímicos, microbianos e físico-químicos das frutas e hortaliças.

Nos trabalhos de Jiang, Feng e Zheng (2012), Nasiri *et al.* (2017) e Nasiri *et al.* (2018) foram avaliados tipos de revestimentos (quitosana, alginato e goma de tragacanto) em conjunto com óleos essenciais para a conservação de cogumelos *A. bisporus* durante 16 dias. Em todos os tratamentos foi observada a inibição da taxa de respiração dos cogumelos ocasionada pelos revestimentos, ao formar uma barreira aos gases. Além de alterar os níveis internos de oxigênio e gás carbônico. Sendo assim, os efeitos observados na taxa de respiração estão relacionados à aplicação de revestimentos.

Os sachês de esferas de alginato (PA) atuaram na redução da taxa respiratória do cogumelo paris frescos durante o armazenamento. Porém, os sachês com cinamaldeído (PAC) simultaneamente demonstraram alta taxa respiratória, no final do armazenamento, e bons parâmetros de qualidade para outras características, sendo assim, resultados contraditórios. Desta forma, recomendam-se mais estudos sobre a taxa respiratória de cogumelos comestíveis associados ou não, a diferentes concentrações de óleos essenciais.

#### **4.8 Efeito dos sachês sobre os parâmetros físico-químicos dos cogumelos**

Segundo Wills e Golding (2016), a caracterização físico-química pode auxiliar na determinação da maturidade de produtos alimentícios. Portanto, os parâmetros físico-químicos analisados nesse estudo foram: potencial hidrogeniônico (pH), a acidez total titulável (ATT) e os sólidos solúveis totais (SST). Os resultados dos parâmetros estão apresentados na Tabela 5. Foram observadas diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos e dias de armazenamento para os parâmetros físico-químicos avaliados.

Ligeiras diferenças de pH são observados entre os tratamentos e o tempo de armazenamento. O tratamento controle e o PA apresentaram pH estável durante o armazenamento. Já, o tratamento de sachês com PAC apresentou pH estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) aos demais tratamentos, no décimo-terceiro dia.

Entre o pH e a taxa de respiração, a correlação de Pearson demonstrou que existe uma correlação fraca de 0,377 e valor de  $p < 0,0178$ . O resultado indica que a elevação do pH e a alta taxa respiratória pode ter relação entre si.

TABELA 5. Parâmetros físico-químicos avaliados em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.

Tratamentos	Potencial hidrogeniônico - (pH)	Acidez total titulável - ATT (g/100 g de cogumelo fresco)	Sólidos solúveis totais - SST (°Brix)	Relação SST/ATT
Tratamentos				
0 d				
Controle	6,2 ± 0,04 aA	18,3 ± 0,34 aA	5,1 ± 0,15 aA	0,27 ± 0,01 bA
PA	6,2 ± 0,04 aA	18,3 ± 0,34 aA	5,1 ± 0,15 aA	0,27 ± 0,01 bA
PAC	6,2 ± 0,04 bA	18,3 ± 0,34 abA	5,1 ± 0,15 aA	0,27 ± 0,01 cdA
3 d				
Controle	6,0 ± 0,01 bB	19,1 ± 0,81 aA	4,2 ± 0,08 bB	0,27 ± 0,01 bAB
PA	6,1 ± 0,01 bA	17,7 ± 0,58 aA	5,4 ± 0,20 aA	0,29 ± 0,29 bA
PAC	6,0 ± 0,03 cAB	20,5 ± 0,68 aA	5,2 ± 0,24 aA	0,25 ± 0,01 dB
7 d				
Controle	6,2 ± 0,02 aA	16,2 ± 1,50 abA	4,8 ± 0,03 abA	0,33 ± 0,01 aB
PA	6,2 ± 0,01 abA	13,4 ± 1,03 bA	4,9 ± 0,05 aA	0,38 ± 0,01 aA
PAC	6,2 ± 0,01 bA	15,9 ± 0,54 bA	4,7 ± 0,23 aA	0,31 ± 0,02 bcB
10 d				
Controle	6,2 ± 0,01 aA	16,0 ± 0,76 abA	4,6 ± 0,17 abA	0,27 ± 0,01 bB
PA	6,3 ± 0,01 aA	16,2 ± 0,61 abA	4,0 ± 0,12 bA	0,27 ± 0,01 bB
PAC	6,3 ± 0,01 bA	10,3 ± 0,56 cB	3,4 ± 0,20 bB	0,34 ± 0,01 bA
13 d				
Controle	6,2 ± 0,03 aB	14,4 ± 1,46 bA	3,4 ± 0,08 cB	0,19 ± 0,01 cB
PA	6,2 ± 0,01 aB	14,1 ± 1,52 bA	3,5 ± 0,20 bB	0,20 ± 0,01 cB
PAC	6,7 ± 0,04 aA	08,5 ± 0,54 cB	4,8 ± 0,20 aA	0,59 ± 0,02 aA

PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Os dados são expressos como a média ± erro padrão (n = 3). Letras minúsculas representam diferenças significativas entre os dias de armazenamento e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

López-Gómez *et al.* (2021) avaliaram o uso de embalagem sob atmosfera modificada (MAP), em conjunto com duas concentrações de vapor do mix de óleos essenciais, em *A. bisporus* fatiados. Os autores observaram que as fatias de cogumelos do tratamento controle e do tratamento com baixa concentração de vapor do mix de óleos essenciais

apresentaram as maiores alterações de pH. No entanto, as fatias de cogumelos tratadas com a concentração alta de vapor do mix registraram as menores alterações de pH. Assim, os autores, descreveram que a alta concentrações de vapor do mix foi capaz de minimizar o metabolismo do produto, pois menores eram as mudanças de pH. Já a dose baixa não foi suficiente para controlar os processos metabólicos que resultam em alterações de pH.

Desta forma, os tratamentos controle e PA apresentam igualdade estatística ( $p \geq 0,05$ ), podendo indicar que o uso do sachê de esferas de alginato (PA) não foi efetivo em alterar os processos metabólicos e, conseqüentemente, o pH. Todavia, os cogumelos Paris do tratamento de sachê com PAC, no dia 13, apresentaram elevação significativa ( $p \leq 0,05$ ) do pH, o que pode indicar que os sachês contendo cinamaldeído atuaram sobre os processos metabólicos e sobre os parâmetros bioquímicos, físico-químicos e respiratórios, resultando em alterações do pH.

Em relação à acidez total titulável (ATT) e os teores de sólidos solúveis totais (SST), os três tratamentos, demonstraram tendência de redução durante o armazenamento, em comparação aos teores iniciais (dia 0).

Os valores médios de acidez total titulável dos tratamentos se mantiveram estatisticamente iguais ( $p \geq 0,05$ ) até o sétimo dia de armazenamento. O tratamento de sachê com PAC apresentou teores estatisticamente inferiores ( $p \leq 0,05$ ) de  $10,3 \pm 0,56$  e  $08,5 \pm 0,54$  g de acidez total titulável por cem gramas de cogumelo fresco no décimo e décimo-terceiro dia, respectivamente.

Após momentos de estresses, como a colheita, as células demandam alta quantidade de energia, que pode ser obtida dos ácidos orgânicos. Assim, o consumo dos ácidos orgânicos pode provocar o incremento de pH (López-Gómez *et al.*, 2021). A correlação de Pearson demonstrou que existe correlação forte de -0,760 e valor de  $p < 0,0000000202$ , entre o pH e os teores de acidez total titulável. O resultado da correlação indica que a redução do teor de acidez total titulável pode estar relacionada aos resultados de

incremento do pH, observado no tratamento de sachê com PAC no décimo-terceiro dia de armazenamento.

Wang *et al.* (2021) investigaram a influência de diferentes embalagens com atmosfera modificada, em *Agaricus bernardii*. Os autores observaram que no estágio inicial de armazenamento, o teor de ácidos orgânicos mostrou tendência de aumento, e no final, uma tendência de redução.

A correlação de Pearson entre os teores de sólidos solúveis totais e a acidez total titulável demonstrou ser de 0,429 e valor de  $p < 0,00645$ , ou seja, correlação moderada entre os dois teores. Parte desses teores podem estar relacionada a alta taxa respiratória do tecido (Wang *et al.*, 2021). Essas observações estão de acordo como os dados relacionados à respiração, pois os cogumelos paris conservados com sachê de PAC apresentaram as maiores taxas respiratórias a partir do décimo dia de armazenamento. Acredita-se que parte dos sólidos solúveis totais e dos ácidos orgânicos tenham sido translocados para outras vias metabólicas, principalmente para o crescimento do estipe e abertura do chapéu, porque são processos que demandam energia e a síntese de quitina (Rai; Arumuganathan, 2008).

Em relação aos teores de açúcares, os tratamentos de sachês com PA e PAC, no terceiro dia, obtiveram teores de sólidos solúveis totais superiores ( $p \leq 0,05$ ) ao do tratamento controle. No sétimo dia todos os tratamentos apresentaram igualdade estatística ( $p \geq 0,05$ ). Nos dias 10 e 13 de conservação, foram observados resultados opostos, ou seja, os tratamentos controle e PA apresentaram redução gradual dos teores de sólidos solúveis totais. Enquanto no tratamento de sachê com PAC foi observada a redução e incremento dos teores de sólidos solúveis totais, respectivamente para os dias 10 e 13 de armazenamento.

A elevação do teor dos sólidos solúveis totais observada no dia 13, pode estar relacionada à degradação da parede celular para suprir a demanda celular por sólidos

solúveis totais (Wang *et al.*, 2021), pois neste dia o tratamento apresentou altas taxas respiratórias. No entanto, as amostras conservadas com cinamaldeído (PAC) apresentaram a maior firmeza do tecido do chapéu do cogumelo no décimo-terceiro dia de armazenamento.

Wang *et al.* (2021) investigaram a influência de diferentes embalagens com atmosfera modificada, sobre as alterações do metabolismo da parede celular e dos compostos aromáticos de *Agaricus bernardii*. Os autores descreveram a falta de compreensão entre as alterações dos parâmetros físico-químicos e a perda de firmeza do chapéu dos cogumelos. Além disso, os autores observaram que o açúcar solúvel do controle foi drasticamente reduzido e nos demais tratamentos houve suaves reduções.

Jiang, Feng e Li (2012) avaliaram o efeito da quitosana, da glicose e do complexo quitosana-glicose na pós-colheita de cogumelos shitake (*L. edodes*) armazenado a  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$  por 16 dias. A concentração de sólidos solúveis totais aumentou no controle e os demais tratamentos apresentaram as menores concentrações. Assim, os autores descreveram que a menor taxa de respiração dos tratamentos pode ter retardado a síntese e o uso de metabólitos, resultando em menor concentração de sólidos solúveis totais, devido à hidrólise mais lenta. Resultados similares foram obtidos por Nasiri *et al.* (2019).

Simpon e Straus (2010) descreveram que a acidez das frutas (ex. frutas cítricas) diminui progressivamente à medida que a fruta amadurece. Usualmente, a acidez total titulável e os sólidos solúveis totais são combinados, de forma, a fornecer a relação entre os dois teores, que é utilizada como medida da maturidade de frutas. Os frutos maduros apresentam menor teor de acidez em comparação aos teores de sólidos solúveis totais, o que promove a elevação do valor da relação. Porém, se o teor de acidez for superior ao dos sólidos solúveis totais, o valor da relação diminui.

Na relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável, os tratamentos controle e PA se apresentaram igualdade estatística ( $p\geq 0,05$ ) durante o armazenamento, ou seja, em



ambos, o maior e o menor valor da relação ocorreram nos dias 7 e 13, respectivamente. Além disso, esses tratamentos diferem estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) apenas no sétimo dia de armazenamento (Tabela 5). Apesar das diferenças individuais nos teores, os tratamentos apresentam comportamento semelhante quando os teores são combinados.

Os tratamentos controle e PA, no dia 13 de armazenamento, apresentaram os menores valores de pH, indicando maior acidez dessas amostras em comparação ao pH das amostras tratadas com cinamaldeído (PAC). Devido a isso, o valor da relação sólidos solúveis totais/ácido, diminuiu. Desta forma, o uso dos sachês de esferas de alginato (PA) não foi capaz de causar impacto significativo sobre os parâmetros físico-químicos avaliados, pois não deferiu do tratamento controle.

Com base na Tabela 5, durante o armazenamento, os cogumelos do tratamento de sachê com cinamaldeído (PAC) apresentaram o menor e o maior valor da relação sólidos solúveis totais/ácido nos dias iniciais (0 e 3) e 13, respectivamente. Além disso, o tratamento PAC foi estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) ao controle, nos dias 10 e 13 de armazenamento, indicando um possível efeito sobre a atividade metabólica do produto.

Jiang, Feng e Li (2012) e Wang *et al.* (2021) observaram resultados distintos, assim, demonstra-se a necessidade de fortalecer a compreensão sobre os parâmetros físico-químicos e a relação deles com as demais características, como a taxa respiratória e a textura do chapéu. Além disso, os resultados demonstram que o cinamaldeído pode exercer efeito sobre os parâmetros físico-químicos dos cogumelos, desta forma, são necessários mais estudos relacionando os parâmetros físico-químicos e o uso de diferentes concentrações de cinamaldeído.

#### **4.9 Efeito dos sachês sobre os compostos fenólicos totais dos cogumelos**

O conteúdo de compostos fenólicos totais em cogumelos pode sofrer oxidação enzimática devido à descompartimentação celular de substratos e enzimas. Nesse sentido,

os principais fatores que influenciam o escurecimento enzimático dos tecidos são a temperatura, o conteúdo de substâncias fenólicas, a presença da enzima polifenoloxidase (PPO) e seus inibidores (Rahman, 2007).

A Tabela 6 apresenta o teor de fenólicos totais (mg de EAG/100 g amostra fresca) dos cogumelos paris conservados com diferentes sachês. De acordo com a Tabela 6, diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos e dias de conservação foram observadas.

TABELA 6. Teor de fenólicos totais avaliados em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação.

Tratamentos	Teor de fenólicos totais (mg de EAG/100 g amostra fresca)
0 d	
Controle	36,0 ± 0,77 cA
PA	36,0 ± 0,77 cA
PAC	36,0 ± 0,77 bA
3 d	
Controle	42,4 ± 1,20 bB
PA	36,7 ± 0,92 cC
PAC	47,5 ± 0,82 aA
7 d	
Controle	44,0 ± 0,81 bB
PA	37,9 ± 0,55 bcC
PAC	48,9 ± 0,23 aA
10 d	
Controle	49,0 ± 0,73 aA
PA	45,7 ± 1,27 aB
PAC	36,2 ± 0,92 bC
13 d	
Controle	37,1 ± 1,18 cB
PA	41,5 ± 1,26 bA
PAC	39,7 ± 0,76 bAB

PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Os dados são expressos como a média ± erro padrão (n =3). Letras minúsculas representam diferenças significativas entre os dias de armazenamento e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O teor de fenólicos totais, no início do armazenamento, foi de 36,0±0,77 mg de ácido gálico equivalente (EAG) por 100 gramas de cogumelos paris fresco. Ao terceiro e sétimo

dia, o tratamento PAC, foi estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) ao dia 0 e aos demais tratamentos por obter  $47,5 \pm 0,82$  e  $48,9 \pm 0,23$  mg de EAG/100 g amostra fresca. Em ambos os dias (3 e 7), o tratamento controle alcançou valores estatisticamente superiores e o tratamento PA apresentou valores estatisticamente iguais ao do dia 0. Após 10 dias de armazenamento, se observa redução do teor de fenólicos totais, no tratamento de sachê com PAC, para  $36,2 \pm 0,92$  mg de EAG/100 g amostra fresca. Desse modo, o tratamento PAC foi estatisticamente inferior ( $p \leq 0,05$ ) aos demais tratamentos. Nos tratamentos controle e PA houve acréscimo significativo ( $p \leq 0,05$ ) dos teores de fenólicos totais nesse dia de avaliação, assim, ambos alcançaram os teores de  $49,0 \pm 0,73$  e  $45,7 \pm 1,27$  mg de EAG/100 g amostra fresca, respectivamente.

Ao final do período de conservação, os tratamentos controle e sachê com PA apresentaram diminuição significativa ( $p \leq 0,05$ ) no teor de fenólicos totais para  $37,1 \pm 1,18$  e  $41,56 \pm 1,26$  mg de EAG/100 g amostra fresca, respectivamente. Todavia, o tratamento de sachês com PAC obteve teor de  $39,7 \pm 0,76$  mg de EAG/100 g amostra fresca, assim apresentou igualdade estatística ( $p \geq 0,05$ ) com os demais tratamentos e teor estatisticamente igual ( $p \geq 0,05$ ) ao dia 10.

Barros *et al.* (2007), ao estudarem *Lactarius* sp., identificaram que os corpos de frutificação com esporos maduros apresentaram os menores teores de compostos bioativos, entre eles os compostos fenólicos. Os autores propuseram que os compostos bioativos estão envolvidos em mecanismos de defesa inerentes ao processo de envelhecimento (esporos maduros), resultando na diminuição de seus teores no estágio mais avançado. Assim, o teor de compostos fenólicos pode estar relacionado a proteção dos tecidos dos cogumelos durante o amadurecimento.

Wallis e Galarneau (2020) observaram que um dos principais mecanismos moleculares utilizados pelas plantas para proteger os tecidos da infecção por patógenos e insetos, é a síntese de compostos fenólicos. Devido as características dos cogumelos de

possuírem uma fina cutícula que os protegem de ferimentos, ataques microbianos e da perda de água, possivelmente, os cogumelos elevam a síntese de compostos fenólicos para aumentar a atividade antioxidante, e conseqüentemente, a resposta de defesa (Jiang; Feng; Zheng, 2012).

Na Figura 18, demonstra-se o teor de fenólicos totais e os modelos matemáticos de regressão não linear obtido para os tratamentos.

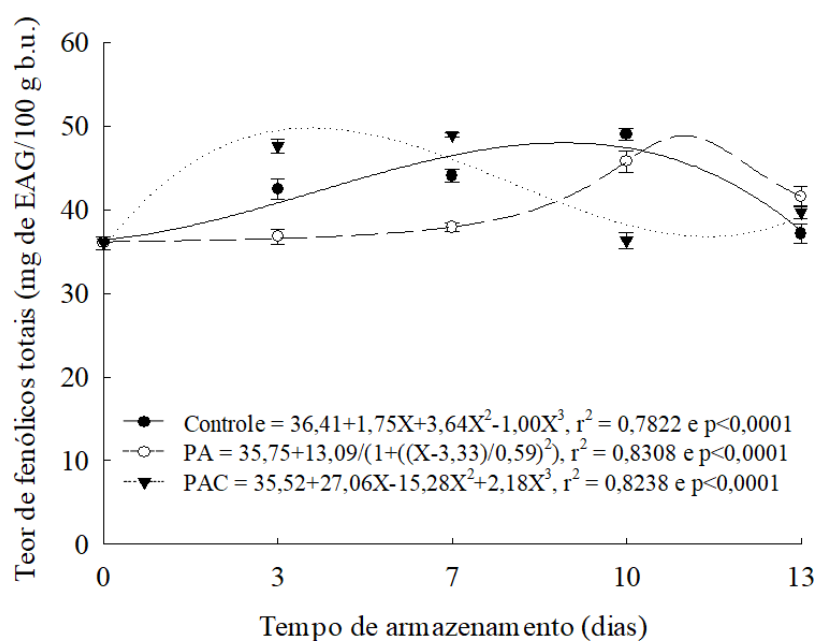


FIGURA 18. Curvas e equações de regressão dos teores de fenólicos totais em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação. PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Cada ponto de dados é a média de três amostras replicadas. As barras verticais representam os erros padrão das médias.

Observamos que as equações de regressão de pico Lorentzian de 4 parâmetros (sachês com PA) e as equações polinomial cúbicas (tratamentos controle e sachês com PAC) foram significativas, houve variação ao longo do tempo ( $p < 0,0001$ ) e o coeficiente de determinação ajustado foi de 0,7822, 0,8308 e 0,8238 para o controle, PA e PAC, respectivamente. Desta forma, podemos observar que em torno de 0,78, 0,83 e 0,82 da variação do teor de fenólicos totais pode ser explicada pelos tratamentos avaliados.

O tratamento de sachês com PA apresentou teor de fenólicos totais estatisticamente inferior ( $p \leq 0,05$ ) ao tratamento controle, com exceção ao décimo-terceiro dia. Os menores teores de fenólicos totais, obtidos no tratamento PA, podem estar relacionadas a menor taxa de respiração apresentada por esse tratamento. Jiang, Feng e Zheng (2012) descreveram que tecidos com menor alteração metabólica apresentam menor resposta de defesa. Apesar das diferenças nos teores de fenólicos totais desses tratamentos, os resultados das análises de cor e sensoriais foram similares durante todo o armazenamento.

No tratamento de sachê com PAC ocorreu acúmulo no teor de fenólicos totais no terceiro e sétimo dia de armazenamento, que possivelmente decorreu da presença do cinamaldeído. O cinamaldeído, de acordo com Echegoyen e Nerín (2015) demonstrou ter efeito de inibição da enzima polifenoloxidase (PPO) em cogumelos paris, assim evitando a oxidação enzimática dos compostos fenólicos e, conseqüentemente, reduzindo o escurecimento do tecido.

A redução do teor de fenólicos totais, após 10 dias de armazenamento, do tratamento de sachês com PAC, indica a possibilidade do teor de fenólicos totais ter sido consumido. Além disso, nos parâmetros de cor, para este dia, não foram observadas diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras conservadas com PAC e o controle, demonstrando que os fenólicos totais possivelmente foram utilizados no escurecimento enzimático. Em adição, na análise sensorial relacionada à percepção do aroma de cinamaldeído, no décimo dia, o aroma era pobre e possivelmente em concentração incapaz de promover o efeito da inibição de enzimas. Assim, após o sétimo dia, provavelmente o cinamaldeído não apresentava efeito de inibição da tirosinase (PPO).

Gao, Feng e Jiang (2014) e Nasiri *et al.* (2018) avaliaram diferentes óleos essenciais com diferentes formas de aplicação em cogumelos paris. Em ambos, o teor de fenólicos totais diminuiu em todos os tratamentos durante o armazenamento, sendo o tratamento controle, o qual apresentou os menores teores. Assim, para estes autores, o menor teor de

polifenóis representava maior contribuição na síntese do pigmento marrom. Enquanto, Wang *et al.* (2015) ao testar o efeito de glicina betaína exógena em *A. bisporus*, observaram que as amostras que apresentaram os menores níveis de escurecimento eram as mesmas que apresentam o menor teor de fenólicos.

Levando em consideração os resultados de teor de fenólicos totais, o presente trabalho está de acordo com Gao, Feng e Jiang (2014) e Nasiri *et al.* (2018), visto que o menor teor de polifenóis ocorre nas amostras de cogumelos mais escurecidos. Essa divergência encontrada na literatura, entre os resultados do teor de fenólicos totais pode ser investigada, desta forma, recomendam-se mais estudos para o esclarecimento dos processos de síntese e uso dos compostos fenólicos totais em cogumelos.

O uso do sachê com cinamaldeído pode ter evidenciado de forma indireta a inibição da atividade enzimática que leva ao escurecimento enzimático, efetivamente até o sétimo dia de armazenamento. Possivelmente, ocasionando melhora na aparência visual dos cogumelos paris, que é um importante atributo de qualidade no momento da compra.

#### **4.10 Efeito dos sachês sobre a qualidade microbiológica**

A avaliação da qualidade microbiológica de cogumelos é de extrema importância para a garantia de qualidade e segurança dos produtos. Nesse sentido, a presença de microrganismos indesejáveis pode intensificar o escurecimento do tecido ou pode acarretar em potencial risco à saúde dos consumidores (Sinha *et al.*, 2011).

A Instrução Normativa 60/2019 (Brasil, 2019), define o padrão microbiológico dos alimentos. Assim, para fungos (cogumelos) preparados inteiros, refrigerados e que necessitam de tratamento térmico anterior ao consumo, a qualidade aceitável deve apresentar contagens de *Escherichia coli* inferiores a  $5 \times 10^1$  UFC/g<sup>-1</sup>, enquanto a qualidade inaceitável, as contagens devem estar acima de  $5 \times 10^2$  UFC/g<sup>-1</sup>. Nenhum dos tratamentos apresentou o crescimento de *E. coli*. Desta forma, calculou-se o resultado de uma colônia,

assim, obtivemos *E. coli* menor do que 100 UFC/g<sup>-1</sup>. Desta forma, os cogumelos deste trabalho apresentaram qualidade intermediária em relação ao microrganismo citado, estando de acordo com a legislação vigente no país.

Os resultados de quantificação dos microrganismos psicrotrófilos e coliformes totais em cogumelo paris estão expressos em log UFCg<sup>-1</sup>, nas Figuras 19 e 20, respectivamente. Em ambos os grupos de microrganismos quantificados houve aumento na contagem da população bacteriana e diferenças estatísticas ( $p \leq 0,05$ ) ocorreram entre os tratamentos e dias de conservação.

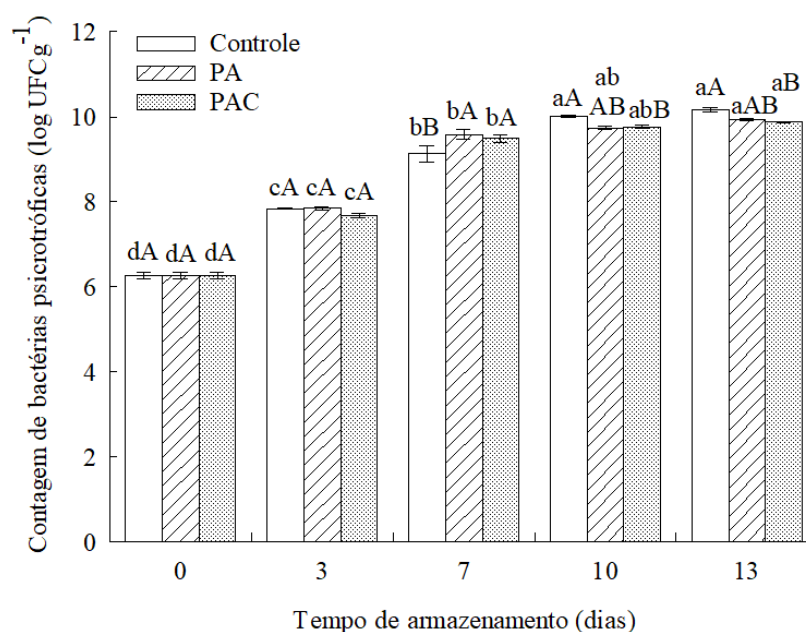


FIGURA 19. Contagem de bactérias psicrotróficas em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação. PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Cada ponto de dados é a média de três amostras replicadas. As barras verticais representam os erros padrão das médias. Letras minúsculas representam diferenças significativas entre os dias de armazenamento e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Enquanto a quantificação de bactérias psicrotróficas (Figura 19), as amostras apresentaram contagens iniciais (dia 0) de 6,3 log UFCg<sup>-1</sup>. No terceiro dia de armazenamento, não houve diferença estatística ( $p \geq 0,05$ ) entre os tratamentos, pois o

controle e sachê com PA apresentaram valores médios de 7,8 log UFCg<sup>-1</sup> e sachês com PAC, de 7,7 log UFCg<sup>-1</sup>. As maiores contagens de bactérias psicrotóficas ocorreram no décimo e décimo-terceiro dia, em todos os tratamentos. O controle apresentou contagens médias de 10,0 e 10,2 log UFCg<sup>-1</sup>, respectivamente. Os tratamentos de sachês com PA e PAC não diferiram estatisticamente ( $p \geq 0,05$ ), assim, no décimo dia as contagens médias foram de 9,7 e 9,8 log UFCg<sup>-1</sup>, respectivamente. No décimo-terceiro dia, o valor médio de ambos os tratamentos com sachês foi de 9,9 log UFCg<sup>-1</sup>.

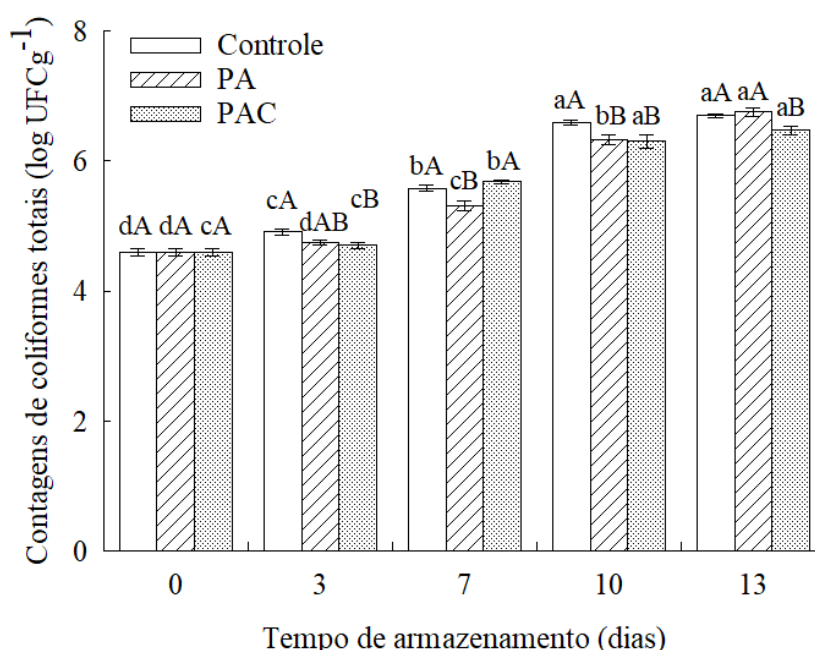


FIGURA 20. Contagem de coliformes totais em cogumelos paris armazenados com sachês de conservação. PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído. Cada ponto de dados é a média de três amostras replicadas. As barras verticais representam os erros padrão das médias. Letras minúsculas representam diferenças significativas entre os dias de armazenamento e letras maiúsculas representam diferenças significativas entre os tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, conforme teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Na Figura 20, demonstra-se a contagem de coliformes totais, e observamos que a contagem média inicial foi de 4,6 log UFCg<sup>-1</sup>. No terceiro dia de conservação, os tratamentos controle e PAC diferiram significativamente ( $p \leq 0,05$ ), pois a contagem foi de



4,9 log UFCg<sup>-1</sup> e 4,7 log UFCg<sup>-1</sup>, respectivamente. Em comparação ao dia 0, o controle apresentou-se estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ).

No sétimo dia de armazenamento, as contagens de coliformes totais foram estatisticamente superiores ( $p \leq 0,05$ ) ao terceiro dia. Houve igualdade estatisticamente entre as contagens dos tratamentos controle e os sachês com PAC (5,6 e 5,7 log UFCg<sup>-1</sup>), enquanto o tratamento de sachês com PA foi estatisticamente inferior ( $p \leq 0,05$ ) por obter contagem de 5,3 log UFCg<sup>-1</sup>.

No décimo dia, todos os tratamentos apresentaram contagens superiores ao dia 7. O tratamento controle apresentou valor médio significativamente superior ( $p \leq 0,05$ ) aos demais tratamentos, com 6,6 log UFCg<sup>-1</sup>. Os demais tratamentos (PA e PAC) apresentaram médias de 6,3 log UFCg<sup>-1</sup>. No dia 13 de armazenamento, os tratamentos controle e sachês com PA não apresentaram diferenças estatísticas ( $p \geq 0,05$ ), apresentando valores médios de 6,7 e 6,8 log UFCg<sup>-1</sup>, respectivamente. O tratamento de sachês com PAC obteve a menor contagem de coliformes totais (6,5 log UFCg<sup>-1</sup>).

Os principais grupos de microrganismos responsáveis pela deterioração dos cogumelos paris são as bactérias, provenientes do composto utilizado para sua produção (Gao; Feng; Jiang, 2014). As bactérias causadoras de doenças de origem alimentar são disseminadas por diversos meios de transmissão até o produto alimentício. Sendo assim, as boas práticas agrícolas (BPA's) e as boas práticas de fabricação (BPF's) devem ser seguidas para minimizar a propagação potencial desses microrganismos durante a colheita e processamento do alimento (Sinha *et al.*, 2011).

O crescimento, atividade e a decomposição microbiana são favorecidas pela alta umidade e temperatura elevada, que são fatores do ambiente. Além disso, características dos cogumelos, como o pH próximo à neutralidade e a fina cutícula de proteção são fatores que também favorecem o ataque microbiano (Diamantopoulou; Philippoussis, 2015). Os microrganismos deteriorantes liberam enzimas bacterianas capazes de degradar as paredes

celulares das células e provocar o extravasamento do citoplasma e o colapso celular (Zivanovic; Busher; Kim, 2000), facilitando a oxidação dos compostos fenólicos que formam melaninas de cor marrom (Jiang; Feng; Zheng, 2012) e assim provocando alterações de coloração em cogumelo paris.

Os efeitos antimicrobianos dos óleos essenciais estão bem estabelecidos e o mecanismo de ação tem sido relacionado a danos à integridade da membrana do microrganismo (Bagamboula; Uyttendaele; Debevere, 2004). Gao, Feng e Jiang (2014) avaliaram o efeito da fumigação de cinamaldeído em cogumelos paris e notaram que os cogumelos fumigados apresentaram a menor contagem microbiana entre os tratamentos. Além da redução maior que 1 log UFCg<sup>-1</sup> na contagem microbiana de mesófilos, psicrófilos e leveduras e bolores.

No trabalho de López-Gómez *et al.* (2021) foi avaliado o uso de embalagem sob atmosfera modificada (MAP), em conjunto com duas concentrações diferentes de vapor do mix de óleos essenciais (eugenol, bergamota e toranja) em *A. bisporus*. O efeito antimicrobiano da atmosfera de vapor do mix ocorreu a partir do nono dia, com redução nas contagens de 1,7 e 1,2-1,5 unidades log de *Pseudomonas* e enterobactérias, respectivamente, em ambas as concentrações do vapor, em comparação ao controle.

Em relação a contagem inicial de microrganismos, López-Gómez *et al.* (2021) observaram contagens médias de 3,2 log UFCg<sup>-1</sup> para psicrófilos e de 1,9 log UFCg<sup>-1</sup> para enterobactérias. Essa baixa contagem inicial de microrganismos identificados no estudo de López-Gómez *et al.* (2021), quando em comparação com os resultados obtidos no presente estudo, pode ser justificada pela higienização dos cogumelos com solução de ascorbato de sódio 3%. Por outra parte, Gao, Feng e Jiang (2014) obtiveram contagem inicial de psicrófilos de 3,3 log UFCg<sup>-1</sup>, sem tratamento prévio de sanitização.

A contagem inicial de bactérias psicrotróficas e coliformes totais no presente trabalho foi de 6,3 e 4,6 log UFCg<sup>-1</sup>, respectivamente. Deste modo, é possível que as altas contagens

iniciais tenham prejudicado a atuação do tratamento de sachês PAC. Além disso, está observação evidência a importância da aplicação das boas práticas agrícolas (BPA's) e boas práticas de fabricação (BPF's) na cadeia produtiva de cogumelos, de forma a evitar altas contagens microbianas indesejáveis.

A utilização dos sachês com esferas de alginato (PA) demonstrou-se estatisticamente igual ( $p \geq 0,05$ ) ao controle nas contagens de bactérias psicrotróficas e coliformes totais. Já os sachês com cinamaldeído (PAC) apresentaram contagens inferiores ao controle, no décimo-terceiro dia. Porém o efeito foi limitado, ao compararmos com os resultados de outros autores que obtiveram reduções nas contagens bacterianas superiores a  $1,0 \log \text{UFCg}^{-1}$ . Desta foram, recomendam-se mais estudos relacionados às concentrações de cinamaldeído e seus efeitos sobre as populações bacterianas dos cogumelos frescos refrigerados. Além de estudos que determinem as características das populações bacterianas dos cogumelos para comercializados no mercado brasileiro e a possibilidade de utilização de tratamentos prévios de sanitização.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

Os sachês de alginato de sódio apresentaram efeito sobre os parâmetros de qualidade dos cogumelos paris armazenados à  $9\pm 1^{\circ}\text{C}$ , por 13 dias. Ao final do armazenamento, os cogumelos armazenados com os sachês de conservação com cinamaldeído (PAC) apresentaram os menores valores de redução de massa fresca (2,40%) e de abertura do chapéu (45,43%), além dos maiores valores de textura (5,39N) em relação aos demais tratamentos. Além disso, a razão do estipe (1,92) foi superior ao do sachê com esferas de alginato (PA) e inferior ao controle.

Os cogumelos conservados com os sachês de cinamaldeído exibiram parâmetros de coloração distintos do controle, assim, ao final do armazenamento, a luminosidade e o índice de escurecimento apresentaram valores médios de 80,18 e 30,57, respectivamente. Portanto, os cogumelos paris conservados com cinamaldeído exibiram a menor variação e intensidade de cor e apresentaram-se menos escurecidos e amarelados. Igualmente, a análise sensorial demonstrou adequada qualidade visual, menor escurecimento e a manutenção do aroma de cogumelo, até o sétimo dia.

O tratamento de sachês com cinamaldeído manteve altos os teores de compostos fenólicos totais, no terceiro e sétimo dia, resultado que pode estar relacionado à inibição indireta da enzima polifenoloxidase (PPO). No entanto, este tratamento elevou a taxa respiratória, alterou os parâmetros físico-químicos e demonstrou efeito limitado sobre a qualidade microbiológica. Por outra parte, durante o armazenamento, os cogumelos conservados com os sachês de esferas de alginato (PA) exibiram as menores taxas

respiratórias e os menores teores de compostos fenólicos totais em comparação aos demais tratamentos, enquanto os parâmetros físico-químicos e a qualidade microbiológica foram similares ao controle.

Em conclusão, os cogumelos conservados com sachês com esferas de alginato apresentaram qualidade similar aos cogumelos controle, enquanto a utilização de sachês com cinamaldeído, resultou na manutenção da qualidade de cogumelo paris por até sete dias de armazenamento, demonstrando, o seu potencial de utilização na conservação de cogumelos paris frescos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho indicam a possibilidade de uso dos sachês de conservação enriquecidos com óleos essenciais no interior das embalagens de cogumelos frescos. No entanto, há a necessidade de mais estudos nessa temática, com o objetivo de garantir a eficiência desse método para os produtores de cogumelos.

Com o intuito de enriquecer a discussão trazida neste trabalho, recomenda-se o estudo de diferentes concentrações de cinamaldeído nas esferas de alginato de sódio e de diferentes quantidades de esferas adicionadas aos sachês de conservação. Além disso, modificar características das esferas, como tamanho e umidade pode ser relevante, assim como testar outros óleos essenciais e outros produtos *in natura*.

Em virtude do resultado da qualidade microbiológica das amostras de cogumelos *paris*, recomenda-se um estudo de identificação e quantificação dos principais microrganismos, assim como, dos principais fatores que favorecem a multiplicação microbiana durante a produção e conservação de cogumelos. Também se estimula a investigação de métodos de higienização adequados e compatíveis com as características dos cogumelos imediatamente após a colheita, pois é importante fornecer cogumelos frescos de qualidade sensorial e nutricional ao consumidor brasileiro.

Neste trabalho se realizou várias indicações de estudos complementares sobre os processos fisiológicos e os parâmetros de qualidade dos cogumelos. Portanto, se recomendam mais estudos sobre os cogumelos comestíveis, a forma de atuação e os efeitos dos óleos essenciais nos tecidos dos produtos hortícolas.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13370 - Nãotecido - Terminologia**. São Paulo: ABNT, 2017. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/8341/abnt-nbr13370-naotecido-terminologia>. Acesso em: 15 maio 2022.
- AJLOUNI, S. O. *et al.* Changes in soluble sugars in various tissues of cultivated mushrooms, *Agaricus bisporus*, during postharvest storage. **Food Flavors: Generation, Analysis and Process Influence**, Amsterdam, v. 37, n. 1, p. 1865–1880, 1995.
- ALMEIDA, H. V. **Características físicas e físico-químicas de partículas de alginato e quitosana obtidas por gelificação iônica**. 2019. Monografia (Bacharel em Química com Habilitação Industrial) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/50379>. Acesso em: 21 out. 2022.
- ANPC – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE COGUMELOS. **Cogumelos**. São José dos Pinhais: ANPC, 2018. Disponível em: <https://www.anpccogumelos.org/cogumelos>. Acesso em: 21 mar. 2021.
- ARANHA, C. P. M. **Microencapsulação por gelificação iônica e interação eletrostática do corante de buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.)**. 2015. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/127991>. Acesso em: 2 jun. 2022.
- BAGAMBOULA, C. F.; UYTENDAELE, M.; DEBEVERE, J. Inhibitory effect of thyme and basil essential oils, carvacrol, thymol, estragol, linalool and p-cymene towards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*. **Food Microbiology**, London, v. 21, n. 1, p. 33–42, 2004.
- BARREIRA, J. C. M.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; FERREIRA, I. C. F. R. Development of a novel methodology for the analysis of ergosterol in mushrooms. **Food Analytical Methods**, New York, v. 7, n. 1, p. 217–223, 2014.
- BARROS, L. *et al.* Effect of fruiting body maturity stage on chemical composition and antimicrobial Activity of *Lactarius* sp. mushrooms. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 55, n. 21, p. 8766–8771, 2007.
- BRACCINI, I.; PÉREZ, S. Molecular basis of Ca<sup>2+</sup>-induced gelation in alginates and pectins: the egg-box model revisited. **Biomacromolecules**, Washington, DC, v. 2, n. 4, p. 1089–1096, 2001.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Sistema de estatísticas do comércio exterior. **Exportação e importação geral**. Brasília, DF: MDIC, 2022. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 27 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretoria Colegiada. Instrução normativa nº 60 de 23 de dezembro de 2019. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União: Seção 1**, Brasília, DF, n. 249, p. 133, 26 dez. 2019. Disponível em: [http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/U\\_IN-MS-ANVISA-60\\_231219.pdf](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/U_IN-MS-ANVISA-60_231219.pdf). Acesso em: 20 out. 2022.

BRIONES, G. L. *et al.* Storage of common mushroom under controlled atmospheres. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 27, n. 5, p. 493–505, 1992.

CACURO, T. A. **Compósitos de alginato como material inteligente, modulação de solubilidade e objeto de ensino**. 2019. Tese (Doutorado em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12093?locale-attribute=pt\\_BR](https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12093?locale-attribute=pt_BR). Acesso em: 21 out. 2022.

CHIAVEGATTI, B. *et al.* **Cogumelos comestíveis: produção e mercado brasileiros**. São Paulo: Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências, 2018. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4332863/mod\\_folder/content/0/Integral/Cogumelos%20comest%C3%ADveis%20produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20mercado%20no%20Brasil.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4332863/mod_folder/content/0/Integral/Cogumelos%20comest%C3%ADveis%20produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20mercado%20no%20Brasil.pdf?forcedownload=1). Acesso em: 25 maio 2022.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005.

CRAIG, G. D.; GULL, K.; WOOD, D. A. Stipe Elongation in *Agaricus bisporus*. **Journal of General Microbiology**, London, v. 102, n. 2, p. 337–347, 1977.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. *E-book*. Disponível em: <http://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=3235180>. Acesso em: 10 maio 2021.

DEACON, J. W. **Fungal biology**. 4th ed. Malden: Blackwell, 2006. *E-book*. Disponível em: <https://yeastwonderfulworld.files.wordpress.com/2016/10/fungal-biology.pdf>. Acesso em: 25 maio 2022.

DIAMANTOPOULOU, P. A.; PHILIPPOUSSIS, A. N. Cultivated mushrooms: preservation and processing. In: HUI, Y. H.; EVRANUZ, E. Ö. (ed.). **Handbook of vegetable preservation and processing**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. p. 516–547. *E-book*. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/297715290\\_Cultivated\\_Mushrooms\\_Preservation\\_and\\_Processing](https://www.researchgate.net/publication/297715290_Cultivated_Mushrooms_Preservation_and_Processing). Acesso em: 16 abr. 2021.

DIAS, Tiago. **Determinação do teor de fenólicos totais (Folin-Ciocalteu): espectrofotometria**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás. Faculdade de Nutrição,



2016. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/128/o/Fen%C3%B3licos\_Totais\_-\_LANAL-UFG.\_Vers%C3%A3o\_2.pdf?1545409339. Acesso em: 12 maio 2022.

ECHEGOYEN, Y.; NERÍN, C. Performance of an active paper based on cinnamon essential oil in mushrooms quality. **Food Chemistry**, London, v. 170, n. 1, p. 30–36, 2015.

ESPOSITO, E.; AZEVEDO, J. L. (org.). **Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia**. 2. ed. Caxias do Sul: Educs, 2010.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Food and Agriculture Data. **Value of agricultural production**. [Base de dados FAOSTAT]. Rome: FAO, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>. Acesso em: 6 jun. 2022.

FATTAHIFAR, E. *et al.* Evaluation of the inhibitory effect of pistachio (*Pistacia vera* L.) green hull aqueous extract on mushroom tyrosinase activity and its application as a button mushroom postharvest anti-browning agent. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 145, p. 157–165, 2018.

FIGUEIREDO, C. S. S. S. *et al.* Óleo essencial da canela (cinamaldeído) e suas aplicações biológicas. **Revista de Investigação Biomédica**, São Luis, v. 9, n. 2, p. 192–197, 2017.

FURLANI, R. P. Z.; GODOY, H. T. Valor nutricional de cogumelos comestíveis: uma revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 64, n. 2, p. 149–154, 2005.

GAO, M.; FENG, L.; JIANG, T. Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. **Food Chemistry**, London, v. 149, p. 107–113, 2014.

GARRIDO, R. M. **Fitotoxicidade de cinamaldeído, curcumina e metoxichalconas sobre alface e plantas daninhas**. 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado em Biociências) - Faculdade de Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista, Assis, 2018. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/153707/garrido\\_rm\\_me\\_assis\\_int.pdf?sequence=3](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/153707/garrido_rm_me_assis_int.pdf?sequence=3). Acesso em: 21 out. 2022.

GONZÁLEZ, D. *et al.* *Listeria monocytogenes* and ready-to-eat seafood in Spain: study of prevalence and temperatures at retail. **Food Microbiology**, London, v. 36, n. 2, p. 374–378, 2013.

GROSS, K. C.; WANG, C. Y.; SALTVEIT, M. **The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks**. Washington, DC: United States Department of Agriculture, 2016. v. 66

HE, S. Y. *et al.* Effects of vacuum pre-cooling on quality of mushroom after cooling and storage. **Advanced Materials Research**, Stafa-Zurich, v. 699, p. 189–193, 2013.

HOLKEM, A.; CODEVILLA, C.; MENEZES, C. Emulsificação/gelificação iônica interna: alternativa para microencapsulação de compostos bioativos. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, p. 116–124, 2015.

HOSSEINI, S. F. *et al.* Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: preparation, characterization and in vitro release study. **Carbohydrate Polymers**, London, v. 95, n. 1, p. 50–56, 2013.

HUDSON, B. J. F. (org.). **Food antioxidants**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1990. *E-book*. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-009-0753-9>. Acesso em: 27 out. 2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. *E-book*. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.ial.sp.gov.br/resources/editori\\_nplace/ial/2016\\_3\\_19/analisedealimentosial\\_2008.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.ial.sp.gov.br/resources/editori_nplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf). Acesso em: 12 maio 2022.

JAY, J. M. **Microbiologia de alimentos**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

JIANG, T. Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 76, p. 91–97, 2013.

JIANG, T. *et al.* Integrated application of nitric oxide and modified atmosphere packaging to improve quality retention of button mushroom (*Agaricus bisporus*). **Food Chemistry**, London, v. 126, n. 4, p. 1693–1699, 2011.

JIANG, T.; FENG, L.; LI, J. Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) treated with chitosan–glucose complex coating under cold storage. **Food Chemistry**, London, v. 131, n. 3, p. 780–786, 2012.

JIANG, T.; FENG, L.; ZHENG, X. Effect of chitosan coating enriched with thyme oil on postharvest quality and shelf life of Shiitake Mushroom (*Lentinus edodes*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, DC, v. 60, n. 1, p. 188–196, 2012.

JIANG, T.; LUO, Z.; YING, T. Fumigation with essential oils improves sensory quality and enhanced antioxidant ability of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). **Food Chemistry**, London, v. 172, p. 692–698, 2015.

JOLIVET, S. *et al.* *Agaricus bisporus* browning: a review. **Mycological Research**, Cambridge, v. 102, n. 12, p. 1459–1483, 1998.

KANG, J-S.; PARK, W-P.; LEE, D-S. Quality of enoki mushrooms as affected by packaging conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 81, n. 1, p. 109–114, 2001.

KEAWCHAOON, L.; YOKSAN, R. Preparation, characterization and in vitro release study of carvacrol-loaded chitosan nanoparticles. **Colloids and surfaces. B, Biointerfaces**, Amsterdam, v. 84 1, p. 163–171, 2011.

LEITE, M. V. **Microcápsula de alginato-quitosana contendo nanopartículas magnéticas para liberação controlada de progesterona**. 2014. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Microc%C3%A1psulas-de-Alginato-Quitosana-contendo-Nanopart%C3%ADculas-Magneticas-para-Libera%C3%A7%C3%A3o-Controlada-de-Progesterona.pdf>. Acesso em: 29 maio 2022.

LEONG, D.; ALVAREZ-ORDÓÑEZ, A.; JORDAN, K. A note on challenge trials to determine the growth of *Listeria monocytogenes* on mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, Dublin, v. 54, n. 2, p. 121–125, 2015.

LI, W.; ZHANG, M.; YU, Han-qing. Study on hypobaric storage of green asparagus. **Journal of Food Engineering**, London, v. 73, n. 3, p. 225–230, 2006.

LIMA, L. A. **Nanopartículas de quitosana/tripolifosfato de sódio obtidas via gelatinização iônica para a nanoencapsulação de quercetina**. 2013. Tese (Mestrado em Ciências de Materiais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/17210>. Acesso em: 29 maio 2022.

LIN, X.; SUN, D-W. Research advances in browning of button mushroom (*Agaricus bisporus*): affecting factors and controlling methods. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 90, n. 1, p. 63–75, 2019.

LÓPEZ-GÓMEZ, A. *et al.* Packaging of fresh sliced mushrooms with essential oils vapours: a new technology for maintaining quality and extending shelf life. **Foods**, Basel, v. 10, n. 6, [art.] 1196, [p. 1-16], 2021.

LUPETTI, A. Molecular basis of resistance to azole antifungals. **Trends in Molecular Medicine**, Oxford, v. 8, n. 2, p. 76–81, 2002.

MAGHENZANI, M. *et al.* Effects of treatment by vapour of essential oil from *Thymus vulgaris* and *Satureja montana* on postharvest quality of sweet cherry (cv. Ferrovia). **Journal of Food and Nutrition Research**, Bratislava, v. 57, p. 161–169, 2018.

MAHAJAN, P. V.; OLIVEIRA, F. A. R.; MACEDO, I. Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms. **Journal of Food Engineering**, London, v. 84, n. 2, p. 281–288, 2008.

MOTA, Kelly S. L. *et al.* Antifungal activity of *Thymus vulgaris* L. essential oil and its constituent phytochemicals against *Rhizopus oryzae*: interaction with ergosterol. **Molecules**, Basel, v. 17, n. 12, p. 14418–14433, 2012.

NAKANO, F. P. **Obtenção de microesferas quitosana/taninos extraídos da casca de *Eucalyptus urograndis* para utilização piloto na tratabilidade físico-química de água bruta com turbidez entre 100-110 NTU**. 2016. Tese (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/97/97136/tde-22092016-154309/>. Acesso em: 29 maio 2022.

NAMIOTA, M.; BONIKOWSKI, R. The current state of knowledge about essential oil fumigation for quality of crops during postharvest. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 22, n. 24, [art.] 13351, [p. 1-29], 2021.

NASIRI, M. *et al.* Application of Tragacanth gum impregnated with *Satureja khuzistanica* essential oil as a natural coating for enhancement of postharvest quality and shelf life of button mushroom (*Agaricus bisporus*). **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 106, n. 1, p. 218–226, 2018.

NASIRI, M. *et al.* Efficiency of Tragacanth gum coating enriched with two different essential oils for deceleration of enzymatic browning and senescence of button mushroom (*Agaricus bisporus*). **Food Science & Nutrition**, Malden, v. 7, n. 4, p. 1520–1528, 2019.

NASIRI, M. *et al.* Tragacanth gum containing *Zataria multiflora* Boiss. essential oil as a natural preservative for storage of button mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Food Hydrocolloids**, Washington, DC, v. 72, n. 1, p. 202–209, 2017.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Selection of Indicator Organisms and Agents as Components of Microbiological Criteria. *In*: NRC. **An evaluation of the role of microbiological criteria for foods and food ingredients**. Washington, DC: National Academies Press, 1985. *E-book*. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK216669/>. Acesso em: 20 out. 2022.

NI, Z. *et al.* Secondary metabolism associated with softening of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*) induced by O<sub>2</sub> depletion and CO<sub>2</sub> accumulation. **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 52, n. 10, p. 2303–2310, 2017.

NUNES, M. C. N. **Color atlas of postharvest quality of fruits and vegetables**. Iowa: Blackwell, 2008.

NUNES, M. C. N.; EMOND, Jean-Pierre. Relationship between weight loss and visual quality of fruits and vegetables. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Goldenrod, v. 120, n. 1, p. 235–245, 2007.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **International standardisation of fruit and vegetable: cultivated mushrooms**. Paris: OECD, 2005.

OMS-OLIU, G.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTIN-BELLOSO, O. Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. **Food Science and Technology**, London, v. 41, n. 10, p. 1862–1870, 2008.

PALOU, E. *et al.* Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. **Journal of Food Science**, Malden, v. 64, n. 1, p. 42–45, 1999.

PASQUALIM, P. *et al.* Microcápsula de alginato de cálcio e óleo vegetal pela técnica de

gelificação iônica: um estudo de capacidade de encapsulamento e aplicação dermatológica. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 23–37, 2010.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. Al-Julanda. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 6, n. 1, p. 36–60, 2013.

PETERSEN, J. H. **The kingdom of fungi**. Princeton: Princeton University Press, 2013.

QU, S. *et al.* Cinnamaldehyde, a promising natural preservative against *Aspergillus flavus*. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 10, [art.] 2895, [p. 1-17], 2019.

RAHMAN, S. **Handbook of food preservation**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007.

RAI, R. D.; ARUMUGANATHAN, T. **Post harvest technology of mushrooms**. Solan: National Research Centre for Mushroom, 2008.

RAZA, Z. A. *et al.* Recent developments in chitosan encapsulation of various active ingredients for multifunctional applications. **Carbohydrate Research**, Amsterdam, v. 492, [art.] 108004, [p. 1-15], 2020.

ROJSITTHISAK, P.; ROJSITTHISAK, P.; NIMMANNIT, U. Preparation of turmeric oil-loaded chitosan-alginate biopolymeric nanocapsules. **Materials Science and Engineering: C**, Amsterdam, v. 29, p. 856–860, 2009.

ROSSOUW, W.; KORSTEN, L. Cultivable microbiome of fresh white button mushrooms. **Letters in Applied Microbiology**, Oxford, v. 64, p. 164–170, 2016.

RSTUDIO TEAM. **RStudio: integrated development environment for R: versão 1.3.959**. Boston: PBC, 2020. *E-book*. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 3 fev. 2022.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L. *et al.* Effect of hydroxypropylmethylcellulose and chitosan coatings with and without bergamot essential oil on quality and safety of cold-stored grapes. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 57–63, 2011a.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L. *et al.* Use of essential oils in bioactive edible coatings: a review. **Food Engineering Reviews**, New York, v. 3, n. 1, p. 1–16, 2011b.

SILVA, V. A. *et al.* Isolamento e identificação de bactérias presentes nos solos de cobertura utilizados no cultivo do cogumelo *Agaricus blazei* Murril. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1364–1373, 2007.

SILVA, N. *et al.* **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 4. ed. São Paulo: Livraria Varela, 2010.

SIMSON, S. P.; STRAUS, M. C. **Post-harvest technology of horticultural crops**. Jaipur: Oxford Book, 2010.

SINGH, M. *et al.* **Mushrooms cultivation, marketing and consumption**. Solan: Indian Council of Agricultural Research, 2011.

- 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**, London, v. 90, n. 9, p. 1393–1402, 2010.
- SINHA, N. K. *et al.* **Handbook of vegetables and vegetable processing**. Iowa: Blackwell, 2011.
- SOUSA, J. M. S. **Análise de compostos fenólicos e avaliação da atividade antioxidante e antimicrobiana de extratos aquosos de cogumelos comestíveis produzidos no Brasil**. 2012. Tese (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em: [http://acervus.unicamp.br/index.asp?codigo\\_sophia=845336](http://acervus.unicamp.br/index.asp?codigo_sophia=845336). Acesso em: 4 maio 2021.
- STAMETS, P. **Growing gourmet and medicinal mushrooms: a companion guide to the mushroom cultivator**. Berkeley: Ten Speed Press, 1993.
- VAN LOON, P. *et al.* Objective measurement of developmental stage of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Science and Cultivation of Edible Fungi**, Rotterdam, v. 14, p. 703–708, 1995.
- VETTER, J. Biological values of cultivated mushrooms – a review. **Acta Alimentaria**, Budapest, v. 48, n. 2, p. 229–240, 2019.
- WALLIS, C. M.; GALARNEAU, E. R.-A. Phenolic compound induction in plant-microbe and plant-insect interactions: a meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 11, [art.] 580753, [p. 1-13], 2020.
- WANG, L. *et al.* Changes in cell wall metabolism and flavor qualities of mushrooms (*Agaricus bernardii*) under EMAP treatments during storage. **Food Packaging and Shelf Life**, Amsterdam, v. 29, [art.] 100732, [p. 1-10], 2021.
- WANG, Z. *et al.* Effect of exogenous glycine betaine on qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 240, n. 1, p. 41–48, 2015.
- WILLS, R. B. H.; GOLDING, J. B. **Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables**. 6th ed. Boston: Cab International, 2016.
- XU, Y. *et al.* Effect of plasma activated water on the postharvest quality of button mushrooms, *Agaricus bisporus*. **Food Chemistry**, London, v. 197, p. 436–444, 2016.
- ZHANG, K.; PU, Y.-Y.; SUN, D.-W. Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): a review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 78, n. 1, p. 72–82, 2018.
- ZIVANOVIC, S.; BUSER, R. W.; KIM, K. S. Textural changes in mushrooms (*Agaricus bisporus*) associated with tissue ultrastructure and composition. **Journal of Food Science**, Malden, v. 65, n. 8, p. 1404–1408, 2000.

## APÊNDICES

APÊNDICE A - Escala hedônica de nove pontos dos atributos de qualidade visual dos cogumelos paris.

<b>Aparência visual geral</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	pobre/não comestível		pobre/ limite usabilidade		boa/ limite do comércio		muito boa		excelente qualidade

<b>Ausência de zonas escuras no chapéu</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	severo		moderado a severo		moderado		leve a moderado		sem escurecimento

<b>Intensidade de aroma de cogumelo</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	nenhum		pobre		moderado		moderadamente completo		típico completo

<b>Intensidade de aroma de cinamaldeído</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	nenhum		pobre		moderado		forte		intenso

APÊNDICE B - Resultado numérico dos atributos de qualidade visual dos cogumelos paris.

	Dia	Controle	Sachê de alginato de sódio (PA)	Sachê de alginato de sódio com cinamaldeído (BAC)
Aparência visual geral	0	8,13 ± 0,07	8,13 ± 0,07	8,13 ± 0,07
	3	5,20 ± 0,01	4,93 ± 0,13	7,33 ± 0,17
	7	3,33 ± 0,17	3,06 ± 0,03	4,03 ± 0,54
	10	2,03 ± 0,03	2,26 ± 0,09	2,03 ± 0,15
Ausência de zonas escuras no chapéu	0	8,23 ± 0,15	8,23 ± 0,15	8,23 ± 0,15
	3	5,30 ± 0,10	5,33 ± 0,33	7,23 ± 0,15
	7	3,96 ± 0,07	3,86 ± 0,15	5,50 ± 0,21
	10	2,36 ± 0,03	2,63 ± 0,20	2,36 ± 0,07
Intensidade de aroma de cogumelo	0	7,66 ± 0,10	7,66 ± 0,10	7,66 ± 0,10
	3	4,46 ± 0,11	5,83 ± 0,08	6,00 ± 0,14
	7	3,60 ± 0,10	3,96 ± 0,12	4,15 ± 0,08
	10	3,33 ± 0,08	3,83 ± 0,08	3,62 ± 0,07
Intensidade de aroma de cinamaldeído	0	-	-	-
	3	-	-	4,33 ± 0,20
	7	-	-	6,36 ± 0,18
	10	-	-	1,50 ± 0,17

Os dados são expressos como a média ± erro padrão (n=3).



APÊNDICE C - Resumo dos resultados obtidos para os parâmetros de qualidade avaliados em cogumelos paris conservados sob refrigeração com sachês de alginato de sódio (esferas com e sem cinamaldeído).

Efeito dos sachês sobre a perda de massa fresca	Tratamentos de sachês com PA e PAC foram estatisticamente menores ( $p \leq 0,05$ ) que o controle durante o armazenamento. Esse resultado pode indicar que os sachês foram efetivos em reduzir a perda de massa fresca, principalmente o sachê com cinamaldeído.
Efeito dos sachês sobre a textura	O tratamento de sachês com PAC foi estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) aos demais no décimo e décimo-terceiro dia. Os maiores valores de textura podem estar relacionados ao cinamaldeído.
Efeito dos sachês sobre a cor de superfície do chapéu	Na variação total de cor ( $\Delta E^1$ ) e diferença total de cor ( $\Delta E^2$ ), o tratamento de sachê com PAC foi estatisticamente inferior ( $p \leq 0,05$ ) aos demais tratamentos, exceto no dia 10. Indicando que os cogumelos tratados com cinamaldeído apresentaram menor alteração de cor.
	O tratamento de sachês com PAC obteve luminosidade ( $L^*$ ) estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) aos demais tratamento. A $L^*$ se manteve alta nos cogumelos tratados com cinamaldeído.
	O tratamento de sachês com PAC apresentou o menor índice de escurecimento (BI), até o sétimo dia, em comparação aos demais tratamentos ( $p \leq 0,05$ ).
	O tratamento de sachês com PAC apresentou hue ( $H^\circ$ ) estatisticamente superiores ( $p \leq 0,05$ ) em comparação aos demais tratamentos, exceto no décimo dia. Os cogumelos conservados com cinamaldeído se manifestavam menos amarelados.
	O tratamento de sachês com PAC apresentou croma ( $C^*$ ) estatisticamente inferior ( $p \leq 0,05$ ) em comparação aos demais tratamentos, exceto o décimo dia. Os cogumelos conservados com o cinamaldeído apresentavam menor intensidade da cor.
Efeito dos sachês sobre a análise sensorial	Em relação à aparência visual geral e ausência de zonas escuras no chapéu, o tratamento de sachês com PAC, apresentou classificações melhores para o terceiro e sétimo dia. Os cogumelos conservados com cinamaldeído apresentavam qualidade visual superior e eram menos escurecidos.
	Em relação à intensidade de aroma dos cogumelos, os tratamentos de sachês com PA e PAC apresentaram as menores perdas de intensidade de aroma no terceiro e sétimo dia. Indicando que os sachês reduziram a perda de aroma de cogumelo.
	Em relação à intensidade de aroma de cinamaldeído, o tratamento de sachês com PAC apresentou aroma moderado, forte e pobre, no terceiro, sétimo e décimo dia, respectivamente. Segundo relatos dos painelistas, o aroma apresentava maior intensidade no estipe, devido sua proximidade do sachê com cinamaldeído.
Efeito dos sachês sobre a abertura do chapéu	O tratamento de sachê com PAC foi estatisticamente inferior ( $p \leq 0,05$ ) aos demais tratamentos, exceto no terceiro dia. Indicando que os sachês com cinamaldeído reduziram a abertura do chapéu.

continuação APÊNDICE C - Resumo dos resultados obtidos para os parâmetros de qualidade avaliados em cogumelos paris conservados sob refrigeração com sachês de alginato de sódio (esferas com e sem cinamaldeído).

Efeito dos sachês sobre as características do estipe	Ao final do armazenamento os tratamentos de sachês com PA e PAC foram estatisticamente menores ( $p \leq 0,05$ ) que o controle. Os sachês reduziram as alterações do estipe, principalmente o sachê com PA.
Efeito dos sachês sobre a taxa respiratória	Tratamento de sachês com PA apresentou taxa respiratória estatisticamente inferior ( $p \leq 0,05$ ) ao do controle. Enquanto o tratamento de sachê de PAC, no décimo e décimo-terceiro dia, demonstrou taxa respiratória em elevação e estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) ao controle.
Efeito dos sachês sobre parâmetros físico-químicos	O tratamento de sachê com PAC, no dia décimo-terceiro, apresentou elevação significativa ( $p \leq 0,05$ ) do pH, em comparação aos demais tratamentos. Indicando que o cinamaldeído atuou sobre os processos metabólicos.
	Em relação à acidez total titulável, o tratamento de sachê com PAC apresentou teores estatisticamente inferior ( $p \leq 0,05$ ) aos demais tratamentos, no décimo e décimo-terceiro dia.
	No tratamento de sachê com PAC foi observado incremento dos teores de açúcares no décimo-terceiro dia em comparação aos demais tratamentos.
	Na relação dos sólidos solúveis totais por acidez total titulável observamos que o tratamento de sachês com PAC foi estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) ao demais tratamentos, no décimo e décimo-terceiro dia. Isso pode indicar que o cinamaldeído atuou sobre a atividade metabólica do produto.
Efeito dos sachês sobre os compostos fenólicos totais	O teor de fenólicos totais do tratamento de sachê com PAC, no terceiro e sétimo dia, era estatisticamente superiores ( $p \leq 0,05$ ) aos dos demais tratamentos. Já no décimo-terceiro dia o teor era estatisticamente igual ( $p \geq 0,05$ ) ao controle. Esse resultado pode indicar que o cinamaldeído inibiu indiretamente a enzima PPO.
Efeito dos sachês sobre a qualidade microbiológica	O tratamento de sachê com PAC apresentou contagens estatisticamente inferiores ( $p \leq 0,05$ ) ao controle, no décimo-terceiro dia. Porém o efeito foi limitado, pois as reduções nas contagens bacterianas foram inferiores a $1,0 \log \text{UFCg}^{-1}$ .

PA: sachê de esferas de alginato de sódio; PAC: sachê de esferas de alginato de sódio com cinamaldeído.