

RENATO BASSETTO LAROCCA

**DESENVOLVIMENTO DE PADRÕES DE QUALIDADE E
ESPECIFICAÇÃO DE EMBALAGEM INSTITUCIONAL PARA
SHIITAKE DESIDRATADO**

**SÃO CAETANO DO SUL
2008**

RENATO BASSETTO LAROCCA

**DESENVOLVIMENTO DE PADRÕES DE QUALIDADE E
ESPECIFICAÇÃO DE EMBALAGEM INSTITUCIONAL PARA
SHIITAKE DESIDRATADO**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do Título de Mestre

Linha de Pesquisa: Engenharia de Embalagem

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Dantas Cabral

**SÃO CAETANO DO SUL
2008**

Larocca, Renato Bassetto

Desenvolvimento de padrões de qualidade e especificação de embalagem institucional para shiitake desidratado / Renato Bassetto Larocca. -São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 2008.

77 p.

Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação. Linha de Pesquisa: Engenharia de Embalagem – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul, SP, 2008.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Dantas Cabral

1. Shiitake desidratado 2. Embalagem I. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. Escola de Engenharia Mauá. II. Título.

TERMO DE APROVAÇÃO

RENATO BASSETTO LAROCCA

DESENVOLVIMENTO DE PADRÕES DE QUALIDADE E ESPECIFICAÇÃO DE EMBALAGEM INSTITUCIONAL PARA SHIITAKE DESIDRATADO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no curso de Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, com linha de pesquisa de Engenharia de Embalagem, da Escola de Engenharia Mauá, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Dantas Cabral
Dept de Processos Químicos e Bioquímicos – E.E.MAUÁ

Prof. Eliana Paula Ribeiro
Dept de Processos Químicos e Bioquímicos – E.E. MAUÁ

Prof. Marli Teixeira de Almeida Minhoni
Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP Botucatu (SP)

São Caetano do Sul, 19 de dezembro de 2008

Dedico esse trabalho à minha esposa Maria Vitória, ao meu irmão Sandro, à minha cunhada Erika, meu sobrinho Pedro, a meu pai Roberto e em especial à minha mãe, Sylvia, que sempre me serviu de inspiração na vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, me auxiliaram na elaboração desse trabalho. Em especial à minha família, ao meu professor orientador Antonio Carlos Dantas Cabral e às professoras Eliana Paula Ribeiro e Marli Teixeira de Almeida Minhoni.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
SUMÁRIO	VI
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1 – INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.2 - Classificação dos seres vivos	9
2.3 - Reino <i>Mycetae (Fungi)</i>.....	10
2.4 - Classificação dos fungos	11
2.4.1 - Fungos tóxicos	11
2.4.2 - Fungos alucinógenos	12
2.4.3 - Fungos de utilização medicinal	12
2.4.4 - Fungos Comestíveis.....	12
2.5 - O COGUMELO SHIITAKE.....	15
2.5.1 – Histórico.....	15
2.5.2 - Uso terapêutico	17
2.5.3 - Ciclo de vida	18
2.5.4 – Cultivo do shiitake <i>in natura</i>	18
2.5.4.1 – O cultivo do shiitake em toras	18
2.5.5 – Comercialização do shiitake	29
2.5.5.1 - Processos de secagem	30
2.5.5.1.2 - Secagem com convecção com ar quente	32
Esse processo é baseado na utilização do ar quente que, aplicado sobre o produto <i>in natura</i> , vai aos poucos retirando água. Existem dois tipos básicos de secadores, o de convecção forçada e o de convecção natural.	32
Caracterizada pela manutenção da secagem aos 60°C durante mais uma hora, essa fase é responsável pelo desenvolvimento do sabor e aroma característicos do shiitake seco (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988).....	33
2.5.6 – Mercado.....	34
2.5.6.1 - Produção e comercialização mundial de cogumelos	34

2.5.6.2 - Panorama da produção e comercialização de cogumelos no Brasil.....	35
2.6. O DESENVOLVIMENTO DA EMBALAGEM PARA O SHIITAKE DESIDRATADO	39
3. METODOLOGIA	46
3.1 – Caracterização dos produtos desidratados disponíveis no mercado	46
3.1.3 - Determinação da isoterma de adsorção do shiitake desidratado	47
Foram utilizados para esse experimento os sais inorgânicos: cloreto de lítio, cloreto de magnésio, carbonato de potássio, brometo de sódio, iodeto de potássio, cloreto de sódio, sulfato de amônia, cloreto de potássio, cloreto de bário e sulfato de potássio; balança analítica do fabricante Micronal com capacidade de 160 g, dessecadores e placas de Petri de vidro.	47
3.2 - Determinação das condições de secagem do cogumelo shiitake nacional ...	48
Posteriormente, os cogumelos foram desidratados em um sistema de bandejas acoplados a uma balança, por um secador modelo <i>Tray Drier</i>, apresentado nas Figuras 19 e 20, com termômetro Minipa, modelo MT – 520 e balança semi-analítica Micronal, modelo B6000, capacidade: 6000 g.	50
3.4.3 – A distribuição do produto.....	54
3.4.4 – A proteção da embalagem	55
3.6 – Desenvolvimento da embalagem.....	56
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.4 – Desenvolvimento da embalagem mais adequada para o shiitake nacional desidratado	64
4.6 – Desenvolvimento da embalagem.....	65
5 - CONCLUSÕES.....	68
6. SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS.....	71
REFERÊNCIAS.....	72
LISTA DE APÊNDICES	76
LISTA DE ANEXOS	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos seres vivos.....	9
Tabela 2. Composição química de algumas espécies de cogumelos (% de matéria seca).....	13
Tabela 3. Composição química dos cogumelos em relação a outros alimentos (% peso fresco).....	14
Tabela 4. Nomes atribuídos ao cogumelo shiitake.....	15
Tabela 5. Umidades relativas encontradas com soluções salinas saturadas a 25 °C.....	48
Tabela 6. Umidade medida das amostras de shiitake importados da China e Japão.....	59
Tabela 7. Notas médias conferidas às características de crocância, odor, aparência e textura do shiitake.....	63
Tabela 8. Taxas de permeabilidade ao vapor d'água e ao oxigênio de estruturas flexíveis.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Micélio ou “semente” de <i>L. edodes</i> , em substrato à base de serragem...	19
Figura 2. Exemplo de orifícios em tora de eucalipto realizados com a broca adequada.....	20
Figura 3. Estufa de incubação de um produtor de shiitake.....	21
Figura 4. Pilhas formadas com as toras de eucalipto.....	21
Figura 5. Cultivo de shiitake em floresta.....	22
Figura 6. Tanque para imersão das toras de eucalipto (choque de indução).....	23
Figura 7. Acondicionamento das toras de eucalipto na estufa de frutificação.....	24
Figura 8. Shiitake dentro da faixa de tamanho ideal de abertura do píleo para a colheita.....	25
Figura 9. Toras de eucalipto logo após o corte na floresta.....	27
Figura 10. Estufa de produção de shiitake com sombrite.....	29
Figura 11. Etapas da secagem do cogumelo shiitake proposta por Przybylowicz e Donoghue (1988).....	34
Figura 12. Exemplo de estufa rústica, utilizada para a produção de shiitake.....	36
Figura 13. Registro da produção de <i>L.edodis</i> na Cooperativa dos Produtores de cogumelo shiitake durante 23 meses.....	36
Figura 14. Registro da produção em quilos de <i>L.edodis</i> de um produtor rural de Itapecerica da Serra durante 18 meses.....	37
Figura 15. Conserva caseira de shiitake e alho.....	37
Figura 16. Variáveis a serem observadas no desenvolvimento de embalagens.....	40
Figura 17. Preparação das amostras para o processo de desidratação.....	49
Figura 18. Embalagens de 100 g e 50 g de shiitake desidratado importado da China, marca <i>Mountains</i>	49
Figura 19. Secador <i>Tray Drier</i> (lado externo).....	50
Figura 20. Secador <i>Tray Drier</i> (lado interno).....	50
Figura 21. Acondicionamento do cogumelo shiitake em quatro bandejas perfuradas para o processo de secagem.....	51
Figura 22. Detalhe da balança semi-analítica ligada às bandejas com	

shiitake para o acompanhamento da perda de massa do produto.....	52
Figura 23. Amostras de shiitake desidratado inteiro.....	58
Figura 24. Amostras de shiitake desidratado inteiros e fatiados.....	59
Figura 25. Isoterma de adsorção do cogumelo shiitake desidratado.....	60
Figura 26. Determinação da equação da reta obtida a partir da isoterma.....	61
Figura 27. Variação da temperatura interna do shiitake durante o processo de secagem.....	62
Figura 28. Curva de secagem do shiitake.....	62

RESUMO

Ultimamente tem crescido muito o consumo de cogumelos no Brasil. Alimentos saudáveis e com algumas propriedades terapêuticas são uma boa opção para as pessoas que buscam uma alimentação saudável e nutritiva. O shiitake (*Lentinula edodes*), por seu sabor pronunciado, destaca-se nessa demanda do mercado. Está presente em muitos pratos servidos em bares e restaurantes e pode ser encontrado *in natura* em feiras livres e supermercados. Para atender às necessidades do mercado consumidor, algumas indústrias de alimentos vêm buscando desenvolver produtos que contenham o cogumelo shiitake na forma desidratada em sua composição. Entretanto, grande parte da oferta desse produto é proveniente de pequenas propriedades rurais carentes de investimentos em tecnologia e pesquisas. Dessa forma, a produtividade depende das condições climáticas e ambientais. A proposta deste trabalho foi solucionar a falta de oferta constante do produto shiitake para a indústria alimentícia brasileira, na forma desidratada. Foi então determinada a umidade média dos produtos importados do Japão e China de 10,86%, encontrada a isoterma do tipo II a partir do shiitake desidratado chinês, marca Wang, e foi realizada a secagem do cogumelo shiitake nacional cortado em fatias, com umidade inicial de 92,44% e final de 8,16%. Em análise sensorial realizada foi definida como atividade de água de 0,43 como limite para manter a crocância, de Posteriormente, com base nos dados obtidos nos experimentos realizados, foi determinada a T.P.V.A. (taxa de permeabilidade do vapor d'água) e especificada a embalagem ideal para garantir o suprimento do shiitake desidratado nacional. A estrutura de BOPP-PVDCmet./PE, além de ser adequada para UR = 90% e Temperatura = 38°C, também atende a condições menos exigentes de temperatura e umidade. Dessa forma, essa estrutura pode ser utilizada como padrão para as mais diversas condições de armazenamento e transporte, como forma de garantir a qualidade da crocância em 1 kg de shiitake desidratado, durante 1 ano, contido em embalagem flexível com área de exposição sugerida de 0,585 m².

ABSTRACT

The consumption of mushrooms in Brazil has been growing a lot lately. Healthy food with therapeutic properties are a good option for those who seek nutritive food. Shiitake (*Lentinula edodes*), with its particular taste, is a good choice when you think of this growing market. It is present in many dishes served in bars and restaurants and can be found in natura or in street markets and supermarkets. To reach consumers needs, some industries are seeking to develop food products containing the shiitake mushroom in dehydrated form of its composition. However, much of that product supply comes from small farms which don't invest on technology and research. Thus, productivity depends on the weather and environment. The purpose of this study is to find a way to supply the Brazilian food industry, which constantly lacks this product, such dehydrated shiitake. It was then determined average humidity of the products imported from Japan and China in 10.86%, found from the dried Chinese shiitake, the isotherm of type II, Wang brand, and it was realized the drying of the national shiitake mushroom, cut into slices, with initial moisture of 92.44%, and 8.16% to finish. In applied sensorial analysis it was defined as water activity the limit of 0.43, to keep the crispness. Subsequently, based on data obtained from performed experiments, it was determined the TPVA and specified the ideal package to ensure the supply of dried national shiitake. The structure of BOPP-PVDCmet./PE, besides being the most adequate for moisture = 90% and temperature = 38 °C, it also meets the less stringent conditions of temperature and moisture. This way, this structure can be used as a standard for many different conditions of storage and transport, in order to guarantee the quality of crispness of 1 kg of Shitake for 1 year, stored in soft package with suggested exhibition area of 0585m².

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Objetivos

O presente trabalho de pesquisa tem por principal objetivo:

- Desenvolver uma embalagem institucional adequada para o cogumelo shiitake desidratado, com garantia de suas características de qualidade por, no mínimo, um ano.

Entre os objetivos secundários do projeto destacam-se:

- Analisar o mercado, desde as características particulares da produção do shiitake no Brasil até as necessidades do mercado consumidor, principalmente aquele representado pelas indústrias de alimentos que buscam sua utilização como matéria-prima para seus produtos.
- Propor um padrão para o shiitake desidratado, com base em produtos comercializados atualmente no Brasil, provenientes de produtores tradicionais como China e Japão.

1.2 – Justificativa

O nome shiitake vem da associação desse cogumelo com a árvore *shii*, do gênero *Pasania*. É também conhecido como cogumelo escuro japonês ou ainda cogumelo escuro chinês (STAMETS; CHILTON, 1983).

O shiitake é classificado como um fungo do tipo saprófito, denominado cientificamente como *Lentinula edodes*. Além de saboroso, trata-se de um cogumelo que, por suas propriedades nutricionais e medicinais, é cada vez mais procurado em todo o mundo (BONONI et al., 1999).

Existem três métodos para cultivar o shiitake: o axênico, que é feito em blocos compostos basicamente de serragem e farelo; o método juncao, que consiste em um composto orgânico à base de capim seco e farelo (muito pouco utilizado) e o tradicional de cultivo em toras de eucalipto (FROTA, 2004).

O cultivo em toras ainda é comum no Brasil e a madeira mais utilizada é o eucalipto (EIRA et al, 2005).

Para produzir o shiitake são feitos vários orifícios nas toras. Cada um desses orifícios é preenchido com o micélio, também conhecido como "semente". Após esta operação, essas toras são colocadas na sombra, onde são irrigadas pelo menos uma vez por dia, durante 6 meses. Posteriormente, são imersas num tanque de água fria por, no mínimo, 12 horas. Depois de uma semana, num local com temperatura e umidade adequada, o shiitake já pode ser colhido (JORNAL DA ILHA, 2005).

No mercado mundial, o shiitake detém o terceiro lugar, em volume, da produção mundial de cogumelos. Não passa de 10% do total, atrás do champignon (*Agaricus bisporus*), com cerca de 38%, e das várias espécies de *Pleurotus* que, somadas, representam cerca de 25% (VILELA, 2006).

O Estado de São Paulo, segundo dados de associações e cooperativas, conta com um número significativo de pequenos e médios cultivadores distribuídos por vários municípios (ZORZENON, 2000).

Em pesquisa de campo realizada para conhecer o mercado, foi possível observar em supermercados, feiras livres e empórios que a maior parte do shiitake em São Paulo é proveniente de diferentes produtores. Normalmente é oferecido *in natura*, em bandejas com 200 g, e, algumas vezes, desidratado em porções inferiores a 100 g. No mercado paulista, conforme informações da Kogumelo's Distribuidora de Produtos Alimentícios em abril de 2008, os valores por quilo pagos aos produtores do shiitake *in natura* têm variado entre R\$ 12,00 e R\$ 22,00. Na forma desidratada, o quilo do produto chega a custar R\$ 200,00.

Em visitas realizadas a oito pequenos e médios produtores de shiitake em Campos do Jordão (SP), Mogi das Cruzes (SP), Vinhedo (SP) e Itapecerica da Serra (SP), foi observada, com uma freqüência alta, a falta de tecnologia e investimentos destinados a essa cultura que, sem condições controladas de produção, depende das condições ambientais, principalmente da temperatura e da umidade relativa adequada, para se desenvolver. Em virtude dessa falta de controle, a instabilidade da oferta é marcante e está diretamente relacionada com as épocas do ano.

Nas visitas realizadas, foi observado que essa variação na produção ocorre todos os anos de forma sazonal e tem relação direta com os preços do produto, que aumenta nos períodos de escassez e diminui quando há excesso deste.

Em entrevistas realizadas com três grandes indústrias alimentícias, interessadas no desenvolvimento de produtos industrializados com shiitake, ficaram evidenciadas algumas necessidades e exigências. Todas foram unânimes na preferência em utilizar o shiitake desidratado, por ocupar menos espaço no transporte e armazenamento e ter uma vida-de-prateleira maior. As ponderações realizadas permitem indicar as condições apresentadas a seguir.

- a. Oferecer o produto shiitake desidratado em embalagens institucionais com pelo menos 1 kg de produto, reduzindo assim os custos com logística e manuseio na fábrica.
- b. Garantir que o shiitake tenha uma vida-de-prateleira de pelo menos 1 ano, como forma de prevenção para a eventual falta do produto no mercado, nos momentos de escassez da produção.
- c. Garantir a qualidade do produto oferecido. Essa necessidade deve ser cumprida com o desenvolvimento de um padrão para o shiitake desidratado com base na principal característica de qualidade requerida pelas indústrias entrevistadas: a crocância do produto.

Com base no histórico apresentado, observou-se uma oportunidade de mercado no atendimento à crescente demanda do shiitake desidratado pelas indústrias de alimentos. Para o desenvolvimento desse produto é necessário definir um padrão nacional de desidratação, conhecer as condições ótimas de secagem do shiitake e desenvolver uma embalagem adequada, especificando o material mais indicado para manter a característica de crocância, em condições adequadas de consumo, por um ano.

Para definição de uma secagem adequada, é preciso conhecer algumas características do produto:

- a. a umidade inicial
- b. a curva de secagem
- c. as etapas (fases) de migração da água de dentro para fora do produto com a ação do calor,
- d. a umidade final do produto, ou seja, o padrão do cogumelo seco a que se espera chegar.

1.3 - Definição do problema

Em virtude da sazonalidade observada na produção do cogumelo shiitake, há dificuldade em sua utilização como matéria-prima para uma série de produtos industrializados. Por outro lado, em visitas realizadas a vários estabelecimentos comerciais foi possível identificar que o produto desidratado, atualmente disponível no mercado, além de ser oferecido em quantidade reduzida, não apresenta padrão de qualidade constante e confiável, pois, normalmente, não passa por um processo tecnologicamente adequado e, tampouco, padronizado. Portanto, não existe cogumelo shiitake *in natura* disponível para atender o mercado brasileiro e o produto nacional desidratado também não é oferecido em quantidade suficiente, ao longo do ano, embalado por quilo. Quando encontrado, apresenta-se normalmente em embalagens com peso líquido inferior a 100 g de produto.

Em entrevista realizada com a Kogumelo's Distribuidora de Produtos Alimentícios, foi possível observar que o consumo do shiitake tem aumentado constantemente nos últimos tempos. Normalmente comercializado *in natura*, é matéria-prima básica para uma série de pratos em bares e restaurantes. Alimento saudável, saboroso e delicado, tem sempre chamado a atenção do público em geral, que busca uma vida saudável e uma alimentação natural. Esse crescimento no interesse pelo shiitake e a consequente necessidade de garantir sua oferta constante ao longo do ano motivaram o desenvolvimento desse trabalho.

Para atender o objetivo principal, é necessário estudar e compreender uma série de outras premissas, aqui designadas como objetivos secundários:

- a. O que determina a sazonalidade do shiitake?
- b. Como flutua a produção do shiitake ao longo de um ano?
- c. Quais os mecanismos de maior relevância no mercado de shiitake, no que tange à flutuação observada nos preços desse produto?
- d. Qual o padrão a ser adotado para o shiitake desidratado?
- e. Qual a vida-de-prateleira adequada à indústria para o shiitake desidratado?
- f. É possível desenvolver uma embalagem para o shiitake desidratado que garanta sua oferta constante a preços estáveis para a indústria, independentemente das flutuações na produtividade e preços do shiitake *in natura* oferecido no mercado?

Essas perguntas são consubstanciadas na questão central da pesquisa, apresentada a seguir.

1.4 - Questão central da pesquisa

É possível definir padrões de qualidade para o cogumelo shiitake desidratado e desenvolver uma embalagem institucional com 1 kg de produto que garanta a manutenção das suas características de qualidade por, no mínimo, um ano?

1.5 - Contribuições do trabalho

Duas linhas mestras orientam a apresentação desse trabalho:

- a. desenvolver um padrão para o shiitake desidratado, com base nas referências encontradas no Japão e na China.
- b. desenvolver a melhor opção em embalagem, considerando custo e qualidade, para o shiitake desidratado que garanta a estabilidade do produto e possa ser utilizado para otimizar e agilizar as etapas de armazenamento, transporte, exposição e manuseio.

A primeira linha propõe determinar um padrão nacional para o shiitake desidratado e será resultado de diversas análises, desde a secagem do produto *in natura* até as análises sensoriais para determinação dos padrões de qualidade no que tange à crocância, odor, textura e sabor a serem adotados para o produto seco. Tais análises oferecem elementos para encaminhar a solução das questões presentes na segunda linha da abordagem: desenvolvimento do material de embalagem que represente a melhor solução para o armazenamento do produto para fins comerciais.

Como contribuição, esse trabalho permite:

- a. estabelecer um padrão brasileiro para o shiitake desidratado e para o processo de secagem.
- b. aplicar a metodologia de parametrização das características de secagem do shiitake e projeto de embalagem, tornando-a acessível a outros pesquisadores interessados em adaptá-la a outros tipos de cogumelos.
- c. diminuir os efeitos da sazonalidade da oferta do shiitake observada no mercado, possibilitando atender de maneira constante às necessidades das indústrias alimentícias interessadas em desenvolver produtos que o utilizem como matéria prima.

1.6- Esquema da dissertação

A dissertação será desenvolvida da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução

- 1.1 – Objetivos
- 1.2 - Justificativa
- 1.3 - Definição do problema
- 1.4 - Questão central da pesquisa
- 1.5 - Contribuições do trabalho
- 1.6 - Esquema da dissertação

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

- 2.1 - Os Fungos
- 2.2- Classificação dos seres vivos
- 2.3 - Reino *Mycetae (Fungi)*
- 2.4 - Classificação dos fungos
- 2.5 - O Cogumelo Shiitake (*Lentinula edodes*)
- 2.6 - O desenvolvimento da embalagem para o shiitake desidratado

Capítulo 3 – Metodologia

- 3.1 - Caracterização dos produtos desidratados disponíveis no mercado
- 3.2 - Determinação das condições de secagem do cogumelo shiitake nacional
- 3.3 – Avaliação sensorial do shiitake e determinação da sua umidade crítica
- 3.4 – Desenvolvimento da embalagem mais adequada para o shiitake nacional desidratado
- 3.5 - Cálculo da T.P.V.A. da embalagem para vida-de-prateleira de um ano em condições pré-estabelecidas
- 3.6 – Desenvolvimento da embalagem

Capítulo 4 – Resultados e Discussão

- 4.1 – Caracterização dos produtos desidratados disponíveis no mercado
- 4.2 - Determinação das condições de secagem do cogumelo shiitake nacional

- 4.3 – Avaliação sensorial do produto e determinação da umidade crítica do shiitake
- 4.4 – Desenvolvimento da embalagem mais adequada para o shiitake nacional desidratado
- 4.5 – Cálculo da T.P.V.A. necessária para a embalagem do shiitake desidratado
- 4.6 – Desenvolvimento da embalagem

Capítulo 5 – Conclusões

Capítulo 6 – Sugestões para novos trabalhos

Referências

Lista de apêndices

Lista de anexos

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Os fungos

Foram várias as formas adotadas por cientistas do mundo inteiro para classificar os seres vivos. Os fungos, em particular, foram responsáveis pela criação de um reino específico, pois possuem características tanto do reino animal quanto do reino vegetal.

2.2 - Classificação dos seres vivos

Em 1969, Whittaker idealizou um moderno sistema de classificação que distribuiu os seres vivos em cinco reinos (ROCHA, 2005). Para tanto, foram consideradas as características particulares de cada um e, desde então, aos fungos foi atribuído o Reino *Fungi*, atualmente também conhecido como Reino *Mycetae*.

Atualmente muitos cientistas aceitam a taxonomia apresentada na Tabela 1.

Tabela1. Classificação dos seres vivos

REINOS	CARACTERÍSTICAS	REPRESENTANTES
<i>Monera</i>	Unicelulares e procariontes	Bactérias e algas azuis
<i>Protista</i>	Unicelulares e eucariontes	Protozoários e certas algas
<i>Mycetae (Fungi)</i>	Uni ou pluricelulares, eucariontes e heterótrofos por absorção	Fungos
<i>Plantae</i>	Pluricelulares, eucariontes e autótrofos	Todos os vegetais
<i>Animália</i>	Pluricelulares, eucarionte e heterótrofos por ingestão	Todos os animais

FONTE: (NETOPEDIA, 2008)

Dentre os seres vivos, os cogumelos estão classificados como pertencentes ao reino *Mycetae (Fungi)*. Conhecê-los é de grande importância para entender as características próprias do shiitake.

2.3 - Reino *Mycetae (Fungi)*

São muitos os tipos de fungos encontrados pelo mundo, chegando a mais de 100.000 espécies conhecidas. Entretanto, os economicamente mais importantes encontram-se divididos em duas grandes classes: Ascomicetos e Basidiomicetos. A diferenciação das classes é baseada nas características de reprodução sexuada observando o tamanho, formato, cor e textura do corpo de frutificação do fungo em questão (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988).

Os fungos não possuem clorofila e são, na maioria, filamentosos. Seus filamentos possuem de 5 µm a 10 µm de diâmetro transversal e, normalmente, são ramificados. Apresentam paredes celulares constituídas por quitina, celulose ou ambas (PELCZAR; REID; CHAN, 1980).

Constituem um grupo de seres vivos com grande variedade de formas, cores e tamanhos. Há os que são unicelulares e microscópicos e os que chegam a ter mais de um metro de diâmetro e massa de até 4,5 kg. Sua coloração pode variar do branco ao negro, passando pelas cores amarela, laranja, marrom, sendo mais raros os azulados, rosados e esverdeados (BONONI et al., 1999).

Para o seu desenvolvimento, os fungos necessitam de carboidratos como fonte de carbono, o qual, normalmente, representa 50% da massa seca. O fungo é sempre muito favorecido em seu crescimento quando encontra um substrato que lhe ofereça fonte apropriada de alimento.

Os fungos são organismos heterótrofos, obtendo sua alimentação a partir da matéria orgânica inanimada ou nutrindo-se como parasitas de hospedeiros vivos. Como saprófitos, decompõem resíduos complexos de plantas e animais, transformando-os em formas químicas simples, que retornam ao solo. Tais substâncias são absorvidas pelas gerações de vegetais subseqüentes, permitindo a reciclagem de elementos da natureza. Desse modo, é possível afirmar que a atividade fúngica é amplamente responsável pela fertilidade do solo (PELCZAR; REID; CHAN, 1980).

Importantes nas fermentações industriais (exemplo: fabricação da cerveja e do vinho), os fungos também contribuem para a produção de antibióticos (exemplo: penicilina), vitaminas e ácidos orgânicos (exemplo: ácido cítrico). Além disso, a fabricação de uma série de alimentos depende da atividade fúngica. Os fungos também conferem sabores e aromas. Alguns importantes componentes de sabor produzidos pelos fungos são os terpenos, o mentol e as lactonas. Além disso, os fungos podem ser utilizados para alterar sabores e são particularmente úteis na eliminação de sabores amargos (PELCZAR; REID; CHAN, 1980).

Com o desenvolvimento da biotecnologia, muitos fungos têm sido estudados com vistas a sua aplicação na decomposição de resíduos industriais de difícil degradação e, ainda, no tratamento de esgotos (PELCZAR; REID; CHAN, 1980).

Em virtude das características de cada fungo, eles foram classificados em diferentes grupos.

2.4 - Classificação dos fungos

Os fungos são classificados em tóxicos, alucinógenos, de utilização medicinal e comestíveis.

2.4.1 - Fungos tóxicos

Na natureza existem fungos tóxicos e venenosos, que podem provocar a morte de homens e animais. O perigo varia de acordo com a espécie do fungo, a quantidade ingerida e o estado físico do ser humano ou animal que o consome. De modo geral, intoxicações agudas ocorrem cerca de 12 horas após sua ingestão, com óbito após três ou quatro dias de fortes dores, delírio e coma. Não se conhece antídotos para esses venenos. Geralmente são recomendadas lavagens estomacais, soro para evitar a desidratação e transfusão completa do sangue (BONONI et al., 1999).

Entre os cogumelos mais perigosos estão a *Amanita verna* (Anjo branco), a *Amanita phalloides*, a *Amanita virosa* e a *Amanita bisporigena*. Quando comparados às plantas, são poucas as espécies de fungos venenosos (BONONI et al., 1999).

2.4.2 - Fungos alucinógenos

Os fungos alucinógenos possuem componentes que, ingeridos pelo homem, provocam uma sensação semelhante à obtida com o uso de drogas. No México, vários grupos indígenas utilizam esse cogumelo em suas cerimônias religiosas. Atualmente, cerca de 80 espécies de *Psilocybe* já foram catalogadas. No Brasil, sete espécies são citadas: *Psilocybe brasiliensis*, *P. furtadoana*, *P. plutônica*, *P. acutipilea*, *P. farinácea*, *P. caeruleoannulata* e *P. cubensis* (BONONI et al., 1999).

2.4.3 - Fungos de utilização medicinal

Há séculos, os cogumelos vêm sendo utilizados por suas propriedades terapêuticas. Extratos de cogumelos são amplamente comercializados como suplementos nutricionais. São muitas as espécies que apresentam moléculas bioativas (CHANG, 1996 apud CASTOLDI, 2002), agindo como um verdadeiro elixir, com propriedades antiviral, antibiótica, antiinflamatória, hipoglicêmica e antitumoral. São também utilizados no combate à hipertensão e ao colesterol (BORCHERS et al., 1999 apud CASTOLDI, 2002).

A penicilina, produzida por fungos do gênero *Penicillium*, foi a primeira substância com esse tipo de ação a ser extraída (BONONI et al., 1999).

2.4.4 - Fungos Comestíveis

Acredita-se que existam aproximadamente 2.000 espécies de cogumelos que são potencialmente comestíveis. Porém, apenas 25 delas são utilizadas na alimentação humana e, menos ainda, são comercialmente cultivadas.

A composição de gorduras, carboidratos, vitaminas e outros constituintes dos cogumelos variam de acordo com sua espécie e com o substrato utilizado para o seu cultivo. São também conhecidos como excelente fonte de aminoácidos, contendo todos os essenciais e alguns não-essenciais. Possuem ainda minerais como o cálcio, potássio, iodo e fósforo, vitaminas como a tiamina, a riboflavina, a niacina e o ácido ascórbico, além de outras relacionadas ao complexo B (BONONI et al., 1999).

Na Tabela 2 são apresentadas as quantidades de gordura, carboidrato, fibras e proteínas presentes em vários cogumelos, inclusive no shiitake (*Lentinula edodes*).

Tabela 2. Composição química de algumas espécies de cogumelo (% de matéria seca)

COGUMELO	GORDURA	CARBOIDRATOS		PROTEÍNAS
		TOTAIS	FIBRAS	
<i>Pleurotus ostreatus</i>	1,08-9,40	46,60-81,80	7,50-27,60	8,90-38,70
<i>Agaricus bisporus</i>	3,90	52,60	6,60	27,80
<i>Auricularia fuscosuccinea</i>	1,50	81,00	6,90	8,10
<i>Suillus edulis</i>	3,10	59,70	8,00	29,70
<i>Coprinus comatus</i>	3,30	58,80	7,30	25,40
<i>Lentinus edodes</i>	1,20	79,20	14,70	13,10
<i>Volvariella volvacea</i>	13,30	54,80	5,50	21,90

FONTE: (BONONI et al., 1999)

Na Tabela 3 é possível verificar algumas das características nutricionais dos cogumelos, comparadas com as de outros produtos (teores significativos de proteína, carboidrato dos cogumelos em contrapartida a um baixo conteúdo calórico).

Tabela 3. Composição química dos cogumelos e relação a outros alimentos (% peso fresco)

	ÁGUA	CALORIAS	PROTEÍNAS	CARBOIDRATOS	GORDURAS
Cogumelos	90,0-98,0	28,0	2,8-4,8	4,4	0,3
Ovos	74,0	163,0	12,9	0,9	11,5
Leite	87,0	65,0	3,5	4,9	3,5
Cenoura	88,0	42,0	1,1	9,7	0,2

FONTE: (BONONI et al., 1999)

Os cogumelos comestíveis mais cultivados no mundo são o champignon (*Agaricus bisporus*) e o shiitake (*Lentinula edodes*). Entretanto, em virtude das características benéficas dos cogumelos, o cultivo de outras espécies também tem aumentado (FLEGG; SPENCER; WOOD, 1987).

2.5 - O COGUMELO SHIITAKE

O cogumelo shiitake encontra-se na classe dos Basidiomicetos e está classificado no gênero *Lentinula*.

2.5.1 – Histórico

A Tabela 4 apresenta os nomes atribuídos ao shiitake desde 1877 (*Agaricus edodes*) até 1975 (*Lentinula edodes*). Este último permanece até os dias atuais (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988)

Tabela 4. Nomes atribuídos ao cogumelo shiitake

Nomes	Ano
<i>Agaricus edodes</i>	1877
<i>Collybia shiitake</i>	1886
<i>Armillaria edodes</i>	1887
<i>Agaricus russaticeps</i>	1888
<i>Lepiota shiitake</i>	1889
<i>Lentinus tonkinensis</i>	1890
<i>Mastaleucomyces edodes</i>	1891
<i>Pleurotus russaticeps</i>	1891
<i>Cortinellus shiitake</i>	1899
<i>Tricholoma shiitake</i>	1918
<i>Cortinellus berkeleyanus</i>	1925
<i>Lentinus shiitake</i>	1936
<i>Cortinellus edodes</i>	1938
<i>Lentinus edodes</i>	1941
<i>Lentinula edodes</i>	1975

FONTE: (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988)

A classificação de organismos pode gerar muitas controvérsias e, por esse motivo, podem ser classificados e re-classificados, levando-se em consideração uma série de critérios. O shiitake mudou de nome inúmeras vezes no decorrer dos anos. Em

1941, R. SINGER nomeou o shiitake de *Lentinus edodes* e, finalmente, em 1975, foi caracterizado como pertencente ao gênero *Lentinula*, passando a chamar-se *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler. Vale ressaltar que o termo "(Berk.)" significa que Berkeley foi o primeiro a descrever a espécie, porém em um gênero diferente. Já Pegler foi o responsável pela classificação do shiitake no gênero *Lentinula*.

De origem asiática, o cogumelo shiitake (*Lentinula edodes*) é encontrado na natureza como decompositor de árvores mortas ou ainda em sementes de carvalho (*Quercus serratus*) na forma de simbionte, auxiliando sua germinação. O shiitake foi o terceiro cogumelo comestível cultivado pelo homem, antes mesmo do champignon (PICCININ, 2000).

Foi descoberto e considerado como alimento, tanto na China como no Japão, há muitos séculos. Entretanto, não há como precisar quais foram seus primeiros locais de cultivo. No Japão, há documentos históricos a respeito dos elogios tecidos pelo imperador Chuai ao shiitake quando o mesmo foi-lhe oferecido pelos nativos Kyusyu no ano 199 D.C. Alguns documentos chineses referem-se ao mesmo fungo, chamado de "Ko-ko" ou "Hoang-hoang-mo" (SINGER; HARRIS, 1987).

Há aproximadamente 1.000 anos na China, um colhedor de cogumelos silvestres, chamado Wu San Kwung, encontrou o que ele chamou de "cogumelos perfumados", crescendo em troncos de árvores caídas, e notou que o micélio do fungo passava de árvore para árvore quando encostadas umas nas outras, fazendo nascer novos e mais cogumelos. Carregando as toras para perto de sua casa e juntando-as a outras recém-abatidas, ele estava iniciando o cultivo racional do cogumelo shiitake (FERREIRA, 1998).

Mais tarde, em 1313, Wang Chen escreveu sobre o cultivo do shiitake em seu livro intitulado Livro de Agricultura e, entre 1500-1600, a cultura desse cogumelo foi introduzida no Japão (FERREIRA, 1998).

A partir de então, cada vez mais o cogumelo shiitake foi sendo estudado e seu ciclo de vida conhecido.

2.5.2 - Uso terapêutico

Além do aspecto culinário, outro fator que tem despertado interesse quanto ao uso do cogumelo shiitake, refere-se a seu uso como produto medicinal. Várias são as citações de sua utilização para o controle das mais diversas doenças, sendo esta a razão desse cogumelo ser conhecido há séculos pelos chineses como “elixir da vida” (PICCININ, 2000).

Um grande número de compostos biologicamente ativos do shiitake já foi isolado e purificado, evidenciando que ele pode reduzir os níveis de colesterol no sangue, influenciar o sistema imunológico, inibir o desenvolvimento de tumores, além de apresentar atividade biocida contra bactérias, fungos e vírus causadores de doenças em seres humanos. O shiitake possui uma substância conhecida por lentinana, com atividade anticancerígena. Além disso, também potencializa os efeitos de medicamentos usados no combate contra a AIDS (PASCHOLATI; STENGARLIN; PICCININ, 1998).

São relacionados a seguir quatro estudos que visam identificar os benefícios que o cogumelo shiitake pode trazer ao ser humano, nas mais diversas formas de apresentação para consumo ou, ainda, como produto auxiliar no cultivo de plantas.

- a. Piccinin (2000) – Verificou a atividade antimicrobiana do *Lentinula edodes*, evidenciando seu potencial para controle de algumas doenças em plantas.
- b. Sasaki et al. (2001) - Realizaram estudos que permitem ampliar a lista dos efeitos benéficos de algumas linhagens do *Lentinula edodes* que inibem fungos fitopatogênicos e o vírus da estomatite vesicular.
- c. Ishikawa et al. (2001) - Estudaram a atividade antibacteriana do *Lentínula edodes*, e todos os isolados, avaliados no estudo em questão, inibiram o crescimento de bactérias patogênicas e deterioradoras de alimentos, especialmente as Gram-positivas.

Os estudos e pesquisas visando identificar as diversas possibilidades da utilização do cogumelo shiitake na medicina estão em plena ascensão. Essa característica medicinal tem ajudado a difundi-lo cada vez mais e sua produção tem se alastrado por todo o Brasil.

2.5.3 - Ciclo de vida

No seu ciclo de vida o shiitake maduro dá origem a esporos sexuais chamados basidiósporos. Essas estruturas correspondem a um “pó branco” que é liberado durante a maturação do basidioma. Quando germinado, recebe o nome de micélio primário, o qual é pouco vigoroso e tem a metade do número de genes do cogumelo. Além disto, o micélio primário é incapaz de dar origem a um novo cogumelo, sendo necessária a fusão (plasmogamia) de dois diferentes micélios e compatível para gerar o micélio secundário. Este apresenta o mesmo número de genes do cogumelo e será capaz de originar novos cogumelos. O micélio secundário é conhecido comercialmente por micélio ou “semente” do cogumelo (PICCININ, 2000).

O crescimento do cogumelo shiitake advém da absorção de compostos solúveis derivados da decomposição da madeira, principalmente celulose e lignina que, transformando-se em açúcares, oferecem a energia necessária ao seu desenvolvimento. Nos últimos anos, cada vez mais os produtores buscam aumentar a produtividade do shiitake, na busca de encontrar a melhor maneira de produzi-lo.

2.5.4 – Cultivo do shiitake *in natura*

O shiitake pode ser cultivado de formas distintas. Tradicionalmente é produzido em toras de eucalipto (EIRA et al, 2005) sendo esse o cultivo escolhido como referência para esse trabalho.

2.5.4.1 – O cultivo do shiitake em toras

Observações realizadas em visitas a oito produtores, que optaram pelo cultivo do shiitake (*Lentinula edodes*) em toras, evidenciaram que o processo passa por oito

etapas, a saber:

- a. Escolha do micélio;
 - b. Escolha das toras de eucalipto;
 - c. Inoculação;
 - d. Acondicionamento das toras na estufa de incubação;
 - e. Choque de indução;
 - f. Acondicionamento das toras na estufa de frutificação;
 - g. Colheita;
 - h. Embalagem.
- a. Escolha do micélio

A escolha do micélio é uma das etapas mais importantes no cultivo, pois define a linhagem e, portanto, as características morfológicas de resistência e até mesmo de sabor do cogumelo a ser produzido.

Ao ser adquirido, o micélio pronto para ser devidamente introduzido nas toras de eucalipto (Figura 1).



Figura 1. Micélio ou “semente” de *L. edodes*, em substrato à base de serragem.

- b. Escolha das toras de eucalipto

Para se desenvolver, o micélio do shiitake alimenta-se da celulose contida nas toras

de madeira. Elas são cortadas de florestas de eucalipto, normalmente destinadas, à indústria de celulose, papel e madeireiras.

c. Inoculação

Para realizar a inoculação é preciso furar as toras de eucalipto. Foi observado nas visitas realizadas que esses furos estão padronizados em 20 mm de profundidade e 12,5 mm de diâmetro e podem ser facilmente obtidos com o uso de equipamento adequado. Os produtores recomendam a utilização de uma broca japonesa apropriada e uma furadeira de impacto com mais de 2.500 rpm, a fim de garantir que as paredes dos orifícios fiquem perfeitamente lisas e uniformes, sem “rebarbas”, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2. Exemplo de orifícios em tora de eucalipto realizados com a broca adequada.

Para a inoculação é utilizado um inoculador, desenvolvido justamente com a finalidade de colocar a quantidade exata de produto em cada orifício. O micélio é fornecido junto com serragem, o que facilita seu manuseio. Depois de preenchido, o orifício é vedado com uma mistura de parafina (95%) e breu (5%). Essa selagem protege o micélio contra o ataque de pragas e microrganismos, bem como a desidratação dos mesmos.

d. Acondicionamento das toras na estufa de incubação

Depois de inoculadas, as toras de eucalipto são dispostas na estufa de incubação, também chamada de estufa de colonização. Trata-se do período no qual o micélio do shiitake irá colonizar as toras de eucalipto até estarem quase no momento de frutificar (produzir o shiitake). Na Figura 3 é possível observar uma estufa de incubação.



Figura 3. Estufa de incubação de um produtor de shiitake

A estufa deve ter estrutura adequada para atender a um dos objetivos desta fase que é de proteger as toras da incidência direta dos raios solares, além de manter as características adequadas de temperatura (24°C - 28°C) e de umidade relativa (35% - 75%) para o desenvolvimento do micélio (PRZBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988).

Nessa etapa, as toras são armazenadas horizontalmente, com o intuito de perder menos umidade, e empilhadas conforme apresentado na Figura 4, ou seja, de forma cruzada, permitindo que os espaços entre as toras facilitem a ventilação.



Figura 4. Pilhas formadas com as toras de eucalipto.

No Brasil, é comum encontrar produtores que dispõem as toras de eucalipto em florestas, conforme Figura 5. Nesse caso, a temperatura e umidade do próprio ambiente encarregam-se de propiciar as condições necessárias para o desenvolvimento do shiitake. Entretanto, a suscetibilidade às variações climáticas e contaminações do meio ambiente é muito maior, dificultando a homogeneidade na qualidade, quantidade e período da produção.



Figura 5. Cultivo de shiitake em floresta.

Depois de empilhadas, as toras são regadas de duas a três vezes ao dia, exceto em dias muito chuvosos. Essa rega é variada em função das condições climáticas, tipo de estufa, localização do cultivo, manejo do sistema, dentre outros. Sendo esse um dos motivos pelos quais o shiitake de diferentes produtores possui diferentes características.

A cada mês, recomenda-se o rodízio das pilhas de toras. Dessa forma, as pilhas são remontadas em outros pontos da estufa e neste momento, as toras que antes estavam na parte de inferior da pilha passam para cima e vice-versa. Esse trabalho busca uniformizar o efeito dos fatores de variação de modo a otimizar o desenvolvimento do micélio em todo o lote de produção.

e. Choque de Indução

No final da colonização, haverá um momento em que aparecerão, ao longo das toras, pequenas formações semelhantes a pipocas, conhecidas como primórdios, e

alguns cogumelos esporádicos. Esse é o sinal de maior indício de que as toras estão prontas para produzir.

Com o intuito de concentrar a produção num mesmo espaço de tempo, é realizado um choque de indução da formação dos primórdios. Para tanto, as toras são submersas em água ambiente ou resfriada (no mínimo a 5°C abaixo da temperatura ambiente), de 12 a 24 horas e, em seguida, são conduzidas à estufa de frutificação para que a produção se inicie. O choque de indução é de hidratação e térmico ao mesmo tempo.

Normalmente, o choque de indução é realizado em caixas d' água ou tanques de alvenaria fabricados com essa finalidade. Na Figura 6 vê-se um tanque desenvolvido e fabricado por um produtor de shiitake de Campos do Jordão (SP).



Figura 6. Tanque para imersão das toras de eucalipto (choque de indução)

f. Acondicionamento das toras na estufa de frutificação

Após o choque de indução, as toras de shiitake seguem para a estufa de frutificação onde são dispostas em pé com uma pequena inclinação, conforme apresentado na Figura 7.

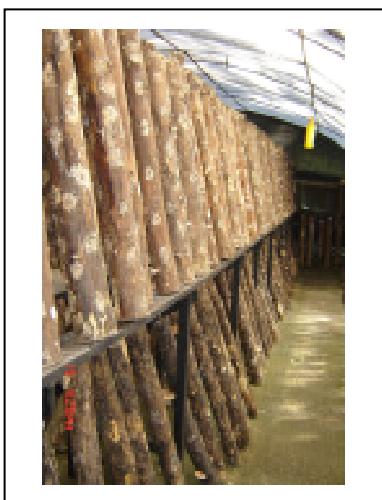


Figura 7. Acondicionamento das toras de eucalipto na estufa de frutificação.

Nessa etapa, os cuidados com as toras de eucalipto são diferentes dos observados até então na estufa de incubação. Agora, as regas diretas nas toras não são recomendadas. Apenas o chão da estufa deverá permanecer úmido. A umidade relativa ideal do ar, mantida por nebulização d'água, varia de 85% a 90% e a faixa de temperatura mais recomendada varia de 15°C a 20°C.

Quanto maior a incidência de luz sobre os cogumelos, mais escuros eles ficarão. Dessa forma, é necessário controlar a luminosidade da estufa para garantir o padrão de cor do produto mais apreciado pelo mercado.

g. Colheita

Os cogumelos começam a crescer após uma semana de incubação das toras na estufa de frutificação. Para a colheita, é preciso muita atenção, pois o cogumelo amadurece muito rapidamente. O chapéu do cogumelo não pode estar muito aberto, o que compromete a qualidade do produto, pois demonstra que ele já está em sua etapa final de vida. Na Figura 8 vê-se um exemplo de shiitake no ponto certo para a colheita, com 70 - 80% de abertura de píleo (ANDRADE, 2007).

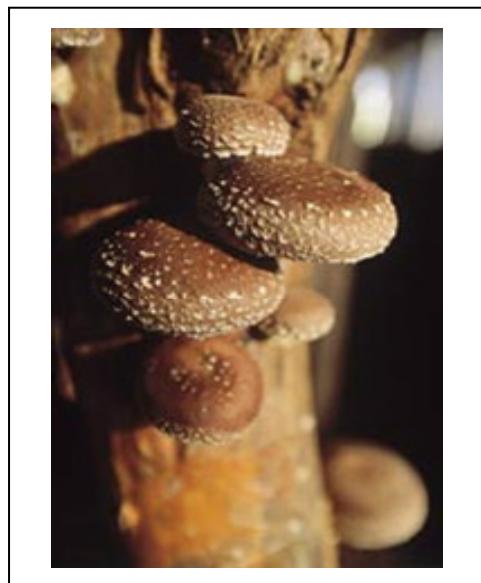


Figura 8. Shiitake dentro da faixa de tamanho ideal de abertura do píleo para a colheita.

Quando a produção se inicia, recomenda-se colher o shiitake de duas a três vezes ao dia, a fim de não perder seu ponto ideal de amadurecimento.

h. Embalagem

O shiitake *in natura* é usualmente embalado em bandejas de poliestireno expandido e filme esticável, por exemplo, PVC, na porção de 200 gramas de produto por bandeja.

Para garantir uma semana de vida-de-prateleira, o produto, logo depois de embalado, segue para o acondicionamento refrigerado, de 7 °C a 10 °C, onde permanecerá até o seu consumo.

Já o produto desidratado, necessita de uma embalagem que atenda à uma série de funções específicas, a fim de garantir a qualidade do produto. É justamente essa embalagem que será especificada nesse trabalho.

2.5.4.2 - Principais variáveis no processo de cultivo do shiitake

Para as etapas de processo de cultivo é muito importante garantir a qualidade do micélio e das toras a serem utilizadas. Devem ser monitoradas também, as variáveis ambientais como a temperatura, umidade e incidência de luz para que seja garantida a condição ótima de desenvolvimento do shiitake.

2.5.4.2.1 – Micélio

A qualidade do micélio é fundamental para uma boa produção de shiitake. Existem atualmente vários laboratórios especializados na sua produção. Existem laboratórios que produzem micélio e distribuem as mais diversas linhagens do cogumelo shiitake para todo o Brasil.

Em virtude das condições climáticas variarem muito ao longo do ano, é comum os produtores utilizarem no mínimo duas linhagens distintas de shiitake, uma de inverno e outra de verão, na busca de maior produtividade.

Quando o cogumelo shiitake é inserido em um novo ambiente, ele sofre adaptação fisiológica e nutricional, a qual é expressa em crescimento e produtividade. Para minimizar essas variações é comum os laboratórios produzirem micélios a partir de cogumelos sadios da região onde o cultivo será realizado.

2.5.4.2.2 – Toras

Vários são os cuidados a serem observados com as toras, a fim de garantir uma boa produção de shiitake. Logo em seguida ao corte, as toras são transportadas conforme apresentado na Figura 9.



Figura 9. Toras de eucalipto logo após o corte na floresta.

A inoculação do micélio deverá ocorrer em até 48 horas após o corte da madeira, pois uma boa quantidade de água no interior da tora é imprescindível para seu desenvolvimento.

Antes de produzir, a tora precisa estar totalmente colonizada pelo micélio. Quanto maior o diâmetro da tora, maior o tempo necessário para a colonização. Costumeiramente usam-se toras de eucalipto com 1m de comprimento e diâmetro de 10 a 15 cm. Nesta situação, a colonização completa-se em 6 a 8 meses. Essa dimensão da tora auxilia também no manuseio desta, em virtude, principalmente do peso.

Vale ressaltar que o ideal é que o cultivo do shiitake seja realizado em toras de 1º ou 2º corte, pois nesses casos, o cerne é menor, oferecendo assim uma maior disponibilidade de nutrientes que se encontram na região designada de alburno, localizada entre a casca da tora e o cerne.

2.5.4.2.3 – Temperatura

Como todo fungo, o shiitake necessita de um ambiente propício para o seu desenvolvimento, principalmente no que tange à temperatura e à umidade relativa do ambiente. O cogumelo shiitake apresenta seu melhor desenvolvimento micelial na faixa de temperatura de 23 °C a 27 °C, sendo que em temperaturas acima de 35 °C ocorre a morte da maioria dos isolados do cogumelo (PICCININ, 2000).

Temperaturas muito baixas retardam o desenvolvimento do micélio, que aguarda condições mais favoráveis para continuar seu crescimento. Também é recomendado que não haja oscilações muito bruscas de temperatura ao longo do dia. Ambas as situações podem resultar na paralisação do crescimento do fungo que entra em estado de “dormência” à espera de melhores condições. Quando há atraso na produção do shiitake, surge outro fator negativo: a demora na colonização das toras dá espaço para o desenvolvimento de outros microorganismos competidores que vão consumindo os nutrientes presentes, alastrando-se e crescendo cada vez mais. Mesmo que seja possível eliminá-los, a produção de shiitake diminuirá numa relação direta com a redução da taxa de nutrientes presentes nas toras. Em casos mais extremos, os competidores colonizam grande parte da tora ou até mesmo a tora inteira e, sem alimento para se desenvolver, o micélio vai enfraquecendo e pode morrer.

2.5.4.2.4 – Umidade

A água é vital para o metabolismo e para o crescimento de todo o ser vivo. Para o shiitake, os nutrientes devem estar diluídos em água para poderem ser absorvidos pelo micélio do fungo. Dessa forma, uma umidade adequada deve ser mantida (MINHONI et al., 2007)

Na estufa onde estão as toras empilhadas a umidade do ar deve estar em torno de 70% a 80% (UEMURA; GRECCO, 2001).

Para tanto, alguns cuidados especiais são necessários, como, por exemplo, a rega constante das toras de eucalipto e um piso adequado dentro das estufas. Observou-se, nas visitas a produtores, que normalmente o piso das estufas é constituído primeiramente por uma camada de areia (20 – 30 cm de espessura) coberta por uma camada de brita nº 02 (15 – 20 cm de espessura). Dessa forma, a areia retém a água da rega, mantendo a umidade do ar elevada por mais tempo. A brita, além de servir como um isolante físico entre a areia e as toras, constitui um excelente piso para as operações de manejo nas estufas.

2.5.4.2.5 – Luz

Foi observado nas visitas realizadas que a incidência da luz solar direta causa perda de umidade das toras e conseqüentes rachaduras e ressecamento nestas, prejudicando significativamente o desenvolvimento do cogumelo shiitake. Por essa razão, os produtores recomendam que as toras devam ser dispostas em locais sombreados e frescos, livres da incidência direta de raios solares.

Nas estufas, é utilizado sombrite para reduzir a incidência da luz solar, garantindo, assim, as condições necessárias para o desenvolvimento do shiitake, o que pode ser observado na Figura 10.

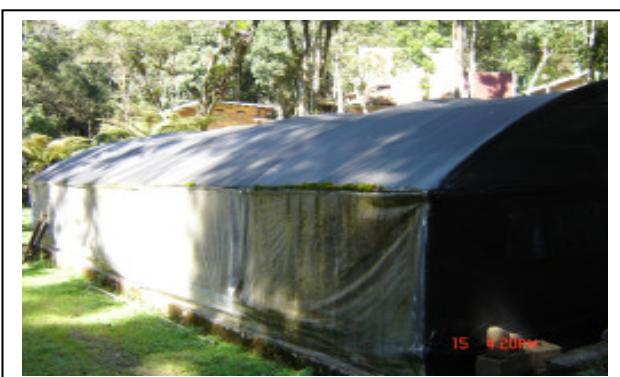


Figura 10. Estufa de produção de shiitake com sombrite.

2.5.5 – Comercialização do shiitake

Os produtores de shiitake visitados enfatizaram que, de uma forma geral, a busca dos consumidores por produtos à base de cogumelos, associados a uma alimentação nutritiva e saudável tem aumentado significativamente, muito possivelmente em decorrência de campanhas de educação ou reeducação alimentar veiculadas, consistentemente, pelos vários meios de comunicação. Neste contexto, o consumo de shiitake tem se difundido e popularizado por todo o mundo, inclusive no Brasil.

Para o consumidor, sobretudo no Brasil, o shiitake é usualmente oferecido *in natura*, na embalagem tradicional de bandejas com 200 g. O produto desidratado é

oferecido em escala muito menor e costuma não estar adequadamente embalado, o que provoca a perda de suas características de qualidade, principalmente a crocância.

Para qualquer que seja o tipo de processamento adotado para um alimento, a sua vida-de-prateleira, também conhecida como *shelf-life*, deve ser considerada. Trata-se do período de tempo, determinado pelas condições de estocagem do produto depois de embalado, no qual suas características nutricionais ainda são mantidas. Em outras palavras, durante esse tempo, o produto deverá manter suas características sensoriais, químicas, físicas, funcionais e microbiológicas, e para tanto os processos de refrigeração, congelamento, liofilização e desidratação foram avaliados.

Uma maneira de conservar o shiitake por mais tempo é através do congelamento. A Kogumelo's Distribuidora de Alimentos Ltda. afirma ter realizado estudos para avaliar a aceitação de shiitake congelado no mercado. Verificou-se que, em função de seu teor elevado de água, o cogumelo perde a sua estrutura, ficando mole após o descongelamento. Em virtude de possuir muita água, quando descongelado, o shiitake perde estrutura e fica muito mole. Vendê-lo liofilizado também é cogitado. Entretanto, o custo desse processo é muito alto e acaba onerando demais o produto final.

Assim, é possível entender o porquê, nas entrevistas com representantes das indústrias alimentícias, da opção unânime destes em desidratar o shiitake. Esta forma de conservação também viabiliza o desenvolvimento de vários produtos que apresentam o shiitake como matéria-prima. Desidratar o shiitake de forma adequada é, por isso, um dos objetivos deste trabalho.

2.5.5.1 - Processos de secagem

No processo de desidratação do cogumelo shiitake, é aconselhável manter um padrão quanto à uniformidade do produto, garantindo uma desidratação homogênea.

Deve-se ressaltar que muitos estudos exploram as condições de secagem e armazenagem, bem como seus efeitos sobre a qualidade dos cogumelos, mas poucas pesquisas trabalham especificamente com o cogumelo shiitake (SAMPAIO; QUEIROZ, 2006).

De maneira geral, os cogumelos são produtos altamente perecíveis. Sofrem escurecimento rápido, causando a depreciação do produto. O processo de secagem tem a finalidade de reduzir a umidade do produto, proporcionando armazenagem prolongada, segura e livre de microorganismos. Os cogumelos frescos são ricos em água, apresentando umidade inicial de 85 a 95% (base úmida - bu) e, quando desidratados, de 5 a 20% (SAMPAIO; QUEIROZ, 2006 apud CRISAN; SANDS, 1978).

A desidratação preserva os cogumelos em virtude da retirada de uma quantidade de água do produto suficiente para inativar enzimas e microrganismos que possam estar presentes. Com a secagem, o tamanho do produto pode diminuir em até 50% e a massa deste pode reduzir em até sete vezes, em relação ao basidioma *in natura* (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988 apud TANAKA, 1976).

Um shiitake desidratado corretamente, quando re-hidratado, mantém sua cor original. No entanto, ele pode apresentar uma estrutura mais resistente do que o fresco. Além disso, a secagem intensifica seu sabor, seu aroma e mantém suas qualidades nutricionais (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988).

O produto desidratado é muito bem aceito pela indústria, pois pode ser estocado em espaço menor, além de prescindir de condições especiais para o armazenamento, o que reduz os custos desta etapa. Ademais, a desidratação garante uma vida-de-prateleira maior, proporcionando flexibilidade às indústrias no uso do shiitake, na medida em que podem eliminar os riscos advindos da instabilidade das condições de oferta, constatados na utilização do produto *in natura*.

Há processos distintos para se obter a secagem do cogumelo shiitake. Os métodos mais comuns são a secagem ao sol ou por convecção de ar forçado (UEMURA,

GRECCO, 2001). O segundo é o mais utilizado quando se vislumbra um volume maior de produção e comercialização.

2.5.5.1.1 – Secagem ao sol

O shiitake desidratado ao sol apresenta qualidade significativamente inferior, quando comparado aos produtos desidratados sob condições controladas. A principal vantagem desse processo está na ação dos raios solares, que convertem o ergosterol presente no shiitake em vitamina D (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988 apud ONO, 1976).

2.5.5.1.2 - Secagem com convecção com ar quente

Esse processo é baseado na utilização do ar quente que, aplicado sobre o produto *in natura*, vai aos poucos retirando água. Existem dois tipos básicos de secadores, o de convecção forçada e o de convecção natural.

A secagem convectiva tem sido a técnica mais utilizada por se tratar de um sistema relativamente simples e barato, geralmente é realizada em equipamentos específicos com controle das temperaturas do ar de circulação. Este processo de secagem é dividido em quatro períodos distintos, descritos a seguir.

A temperatura é diferente para cada período e cuidadosamente controlada para que se obtenha um produto de alta qualidade. O planejamento da secagem depende do secador utilizado e da umidade inicial do shiitake *in natura* que, por essa razão, precisa ser observada e, na medida do possível, padronizada (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988).

a. Fase I: Período inicial

Na fase inicial da secagem ocorre a maior perda de água, na velocidade de aproximadamente 12,0% por hora. A vazão de ar é máxima e a temperatura deve variar de 40°C a 50°C. A temperatura do cogumelo nesse período é menor do que a

do ar, razão pela qual alguns cogumelos secos inteiros maturam e se abrem no secador. Esse período pode durar de uma a quatro horas, tendo como principal variável a umidade inicial do shiitake. A queda na taxa de evaporação da água presente no produto é o sinal da transição da fase de secagem (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988).

b. Fase II: Período principal

O período principal é caracterizado por uma taxa de evaporação que varia de 6% a 7% por hora. A ventilação é diminuída nesse período. A temperatura é reduzida a 40 °C, sendo aumentada gradativa e paulatinamente de 1 °C a 2 °C por hora, com a finalidade de manter a evaporação constante. Este período prolonga-se de 8 a 12 horas.

Nessa fase, a temperatura não deve ultrapassar os 55 °C, evitando-se assim o endurecimento do shiitake. Esse endurecimento ocorre quando a parte externa do cogumelo seca mais rapidamente do que seu interior, inibindo o movimento da água na parte interna do produto (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988).

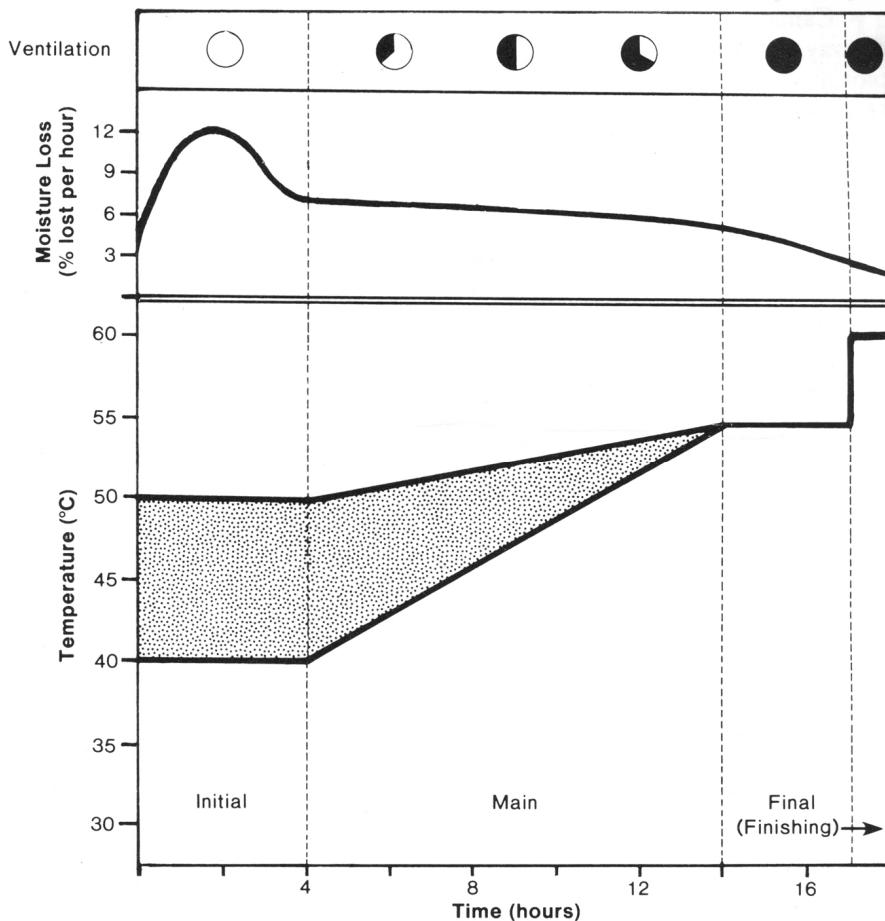
c. Fase III: Período final

O período final da secagem começa quando a taxa de perda de peso cai de 4% a 5% por hora. Nessa etapa, a temperatura é elevada até os 55°C e mantida assim até que os cogumelos fiquem duros e crocantes. Só então a temperatura é elevada aos 60°C para a finalização do processo de secagem (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988).

d. Fase IV: Finalização do processo

Caracterizada pela manutenção da secagem aos 60°C durante mais uma hora, essa fase é responsável pelo desenvolvimento do sabor e aroma característicos do shiitake seco (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988).

Todas as etapas de secagem acima podem ser observadas na Figura 11.



FONTE: (PRZYBYLOWICZ; DONOGHUE, 1988).

Figura 11. Etapas da secagem do cogumelo shiitake proposta por Przybymowicz e Donoghue (1988).

2.5.6 – Mercado

O consumo de cogumelos tem crescido anualmente e sua produção aumentada em vários países do mundo.

2.5.6.1 - Produção e comercialização mundial de cogumelos

A produção mundial de cogumelos foi estimada em 2005 pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) em 3,36 milhões de toneladas, destacando-se como

maiores produtores a China (1,4 milhões de toneladas) e os Estados Unidos da América com 391 mil toneladas (FAO, s.d.).

Toda a área explorada com cogumelos no mundo é inferior a 10 mil hectares. Tomando como base o valor médio da produção norte-americana, pode-se estimar que a produção mundial de cogumelos represente algo em torno de 6 bilhões de dólares por ano (VILELA, 2006).

2.5.6.2 - Panorama da produção e comercialização de cogumelos no Brasil

O Brasil não possui dados oficiais sobre a produção de cogumelos. Entretanto, a maior área produtora localiza-se no Alto Tietê, em São Paulo, na região de Mogi das Cruzes, que comercializa nos mercados interno e externo mais de cinco mil toneladas anuais, o que corresponde a 0,15% da produção mundial. Estima-se que essa quantidade represente cerca de 80% da produção nacional e que o consumo anual de cogumelos no Brasil esteja em torno de 30 gramas por habitante. Apenas a título comparativo, na França, a estimativa de consumo anual é de dois quilos por habitante (SALA DE NOTÍCIAS, 2003; EMBRAPA, 2005).

Devido à concentração da produção nacional de cogumelos no Estado de São Paulo, as cotações de referência partem desse mercado, formador de preços ao produtor, no atacado e no varejo (VILELA, 2006).

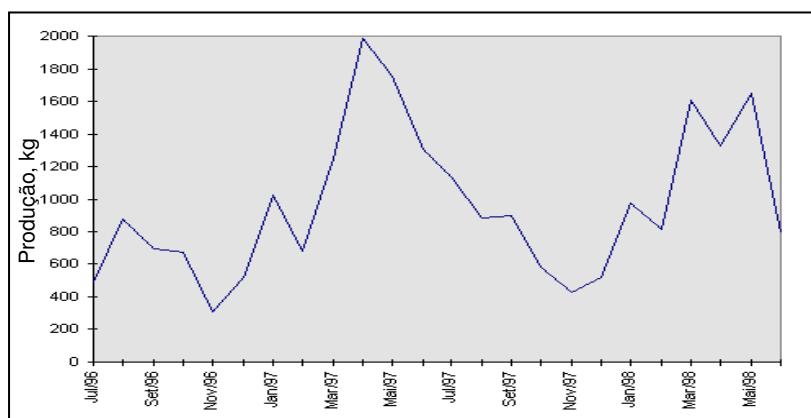
Como verificado junto a Kogumelo's Distribuidora de Alimentos Ltda., situada em Itapecerica da Serra (SP), o preço médio do shiitake *in natura* (embalado em bandejas com 200 gramas), oferecido pelos produtores em abril de 2008, era de R\$ 15,50 / kg. Entretanto, em virtude da oscilação da oferta do produto no mercado, esse preço varia de R\$ 22,00 / kg, nos períodos de escassez, a R\$ 12,00 / kg, quando há excesso. Já o produto desidratado chega a ser comercializado por até R\$ 200,00 / kg. Como o produto *in natura* possui muita água, são necessários 10 kg do produto para a produção de 1 kg do produto desidratado, como apresentado por Uemura e Grecco (2001).

A precariedade de instalações e de recursos tecnológicos, constatada nas visitas realizadas, prevalecem na grande maioria das unidades produtoras do shiitake e pode ser visualizada pelo exemplo típico apresentado na Figura 12.



Figura 12. Exemplo de estufa rústica, utilizada para a produção de shiitake.

Na maioria dos casos, o êxito da produção depende diretamente das condições climáticas. Inexiste, salvo raras exceções, preocupação com controles rígidos das condições de temperatura e umidade das estufas, fundamentais para bom desenvolvimento e produtividade do shiitake. Em virtude dessa falta de controle, a sazonalidade está diretamente relacionada com as épocas do ano, conforme representado na Figura 13.



FONTE: (ANGELIS et al., s.d.)

Figura 13. Registro da produção de *L. edodes* na Cooperativa dos Produtores de cogumelo shiitake durante 23 meses.

Como os dados da Figura 13 datam de 1996/98, segue também dados fornecidos por um produtor de cogumelos de Itapecerica da Serra quanto à produtividade de sua estufa, em período mais recente (Figura 14). Vale ressaltar que a sazonalidade observada durante o ano é similar nas curvas observadas em momentos distintos.

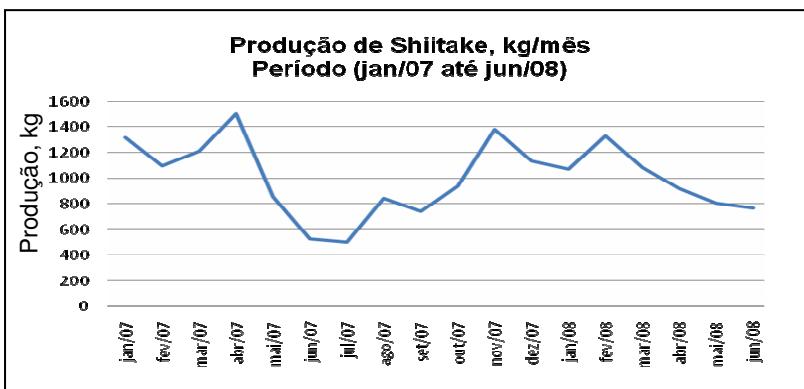


Figura 14. Registro da produção em quilos de *L. edodes* de um produtor rural de Itapecerica da Serra durante 18 meses.

É possível observar a relação entre as Figuras 13 e 14, pois os picos de produção ocorrem em épocas do ano com maior umidade e temperatura e diminuem nos meses de pouca chuva e temperaturas mais baixas.

Nos meses de muita produção, há excesso de oferta do produto no mercado e como a vida-de-prateleira do shiitake *in natura* é curta, menos de 10 dias sob condições de armazenamento adequadas, os produtores desenvolvem outras formas de comercialização, como, por exemplo, na forma desidratada ou em conservas com azeite ou óleo (Figura 15).



Figura 15. Conserva caseira de shiitake e alho.

Esses produtos, de acordo com informações dos próprios produtores, são oferecidos ao mercado sem uma adequada padronização ou freqüência pré-determinada.

Entrevistas realizadas com três grandes indústrias alimentícias, interessadas no desenvolvimento de produtos industrializados com shiitake, evidenciaram algumas necessidades e exigências.

Com base no histórico apresentado, observou-se uma oportunidade de mercado no atendimento à crescente demanda do shiitake desidratado pelas indústrias de alimentos. Para o desenvolvimento desse produto foi necessário definir um padrão nacional de desidratação, conhecer as condições ótimas de secagem do shiitake e desenvolver uma embalagem adequada, especificando o material mais indicado para manter a características de crocância do produto, em condições adequadas de consumo, por um ano.

2.6. O DESENVOLVIMENTO DA EMBALAGEM PARA O SHIITAKE DESIDRATADO

Para o desenvolvimento de uma embalagem adequada é preciso conhecer o produto a ser embalado e todas as etapas do processo, desde a fabricação até a distribuição, a fim de especificar a embalagem mais adequada.

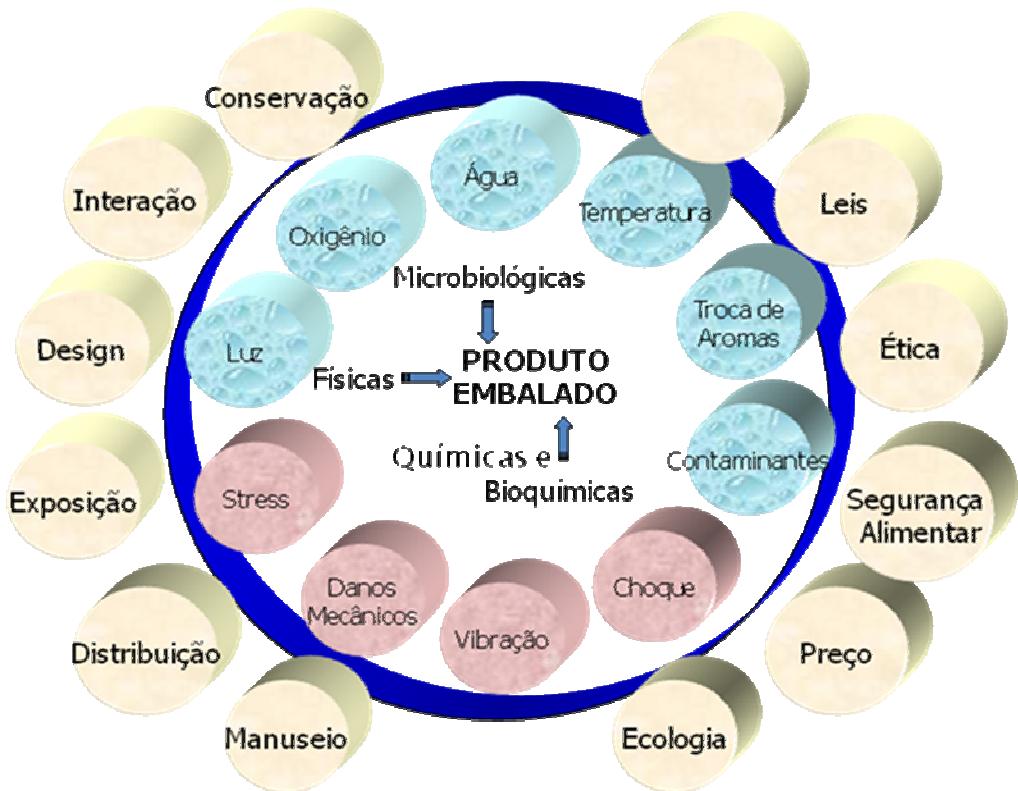
2.6.1 – O desenvolvimento de embalagem

O desenvolvimento de embalagem vai além do material a ser utilizado na sua fabricação. A embalagem deve ser entendida e desenvolvida como um sistema buscando compreender operações, comportamentos, informações e outras variáveis que se agrupam para uma finalidade específica (CABRAL, 2000).

Cada produto possui suas particularidades, assim como o mercado consumidor que se busca atender. Para cada situação, uma análise para encontrar a embalagem mais adequada é fundamental.

Cada tipo de embalagem possui vantagens e desvantagens. Por essa razão sua escolha pressupõe a seleção de uma série de requisitos dentro de limites economicamente aceitáveis. Uma embalagem super dimensionada, por exemplo, pode comprometer a competitividade de determinado produto e, por essa razão, o estudo precisa ser criterioso (MOURA; BANZATO, 198-).

Além dessas primeiras considerações, relevantes para o desenvolvimento de uma embalagem, há outras variáveis a serem consideradas. Inicialmente, é preciso entender quais as influências das ações químicas, bioquímicas, físicas e microbiológicas sobre o conjunto produto-embalagem. Esse entendimento é fundamental para entender melhor o produto, sendo esse o ponto de partida para se especificar a embalagem adequada. Essas interações seguem representadas no centro da Figura 16.



FONTE: (LAROCCA, 2002).

Figura 16. Variáveis a serem observadas no desenvolvimento de embalagens.

No círculo menor, estão as variáveis de ação direta sobre o produto. No círculo maior, estão representadas outras características a serem consideradas que, dependendo do produto estudado, podem ter maior ou menor importância.

Todas as variáveis são apresentadas em círculo para mostrar que são equivalentes em importância, sendo que cada produto, quando submetido a uma análise criteriosa, terá sua seqüência de prioridades definida. Há um espaço em branco, justamente para dar a idéia da existência de outras características importantes a serem descobertas e complementadas, o que sugere a necessidade da busca constante de alternativas baseadas no desenvolvimento de novas tecnologias, tendências e inovações.

2.6.2 - Como projetar a embalagem

Para projetar embalagens é preciso identificar uma série de parâmetros. É fundamental conhecer o produto que se está embalando, entender como ele se deteriora, onde será comercializado, como será armazenado e utilizado e, principalmente, avaliar o que o consumidor deseja. Cumpridas essas exigências e encontradas respostas a essas ponderações que nortearão a escolha da embalagem a ser utilizada, é preciso identificar a embalagem mais adequada para o shiitake desidratado, garantindo assim sua oferta constante durante o ano, suprindo o mercado, independente da sazonalidade na produção.

2.6.2.1 – O conceito atual

Depois de colhido, o shiitake *in natura* vai para a sala de embalagem, onde são separados e embalados. O envase é manual e a embalagem, além de fornecer uma proteção física para o shiitake, garante uma vida-de-prateleira de 7-10 dias quando acondicionado em refrigeradores.

Poucas são as embalagens de shiitake desidratado nacionais disponíveis no mercado. Quando encontrados, normalmente em porções inferiores a 100 g, não estão com o material de embalagem adequado e os produtos acabam absorvendo umidade em excesso e perdendo suas características de crocância.

Não é raro encontrar, principalmente no bairro da Liberdade na cidade de São Paulo (SP), o cogumelo shiitake desidratados, importados da China e do Japão. Esses produtos costumam ser apresentados em embalagens flexíveis com filmes que garantem uma maior barreira à umidade quando comparado ao produto nacional, mantendo assim a crocância e qualidade do produto desidratado por um tempo maior. Os produtos importados servirão de parâmetro para o desenvolvimento da embalagem no presente trabalho, uma vez que foram considerados como referência pelas indústrias alimentícias entrevistadas. Esses não são utilizados atualmente em

larga escala pela insegurança quanto ao custo de importação do produto e a flutuação do câmbio.

A proposta desse trabalho é a de especificar a embalagem ideal para o shiitake desidratado de forma definida e parametrizada, com a finalidade de garantir a oferta de um produto de qualidade que possa ser utilizado pela indústria alimentícia brasileira durante todo o ano. Entretanto, para especificar a embalagem é preciso entender o que é permeabilidade.

A taxa de permeabilidade ao vapor d'água caracteriza-se pela quantidade de vapor (gramas) que passa por uma unidade de superfície (m^2) de um material de unidade de espessura (μ), por unidade de tempo (dia), quando entre suas paredes existe uma diferença de pressão unitária (mmHg).

Essa permeabilidade é diretamente proporcional à temperatura e à umidade relativa do ambiente. Dessa forma, quanto maiores forem essas duas variáveis, maior será a taxa de permeabilidade do vapor d'água na embalagem estudada. No Brasil, onde as condições ambientais regionais são bastante diversificadas, é sempre importante conhecer a região do país onde o produto será exposto depois de embalado.

As taxas de permeabilidade ao vapor d'água (T.P.V.A.) também variam em virtude das estruturas de embalagens propostas. Uma vez determinado que o produto shiitake desidratado deve manter-se estável para o consumo por até um ano após o envase, é preciso determinar as taxas necessárias de T.P.V.A. para escolha da embalagem mais adequada, tanto no que tange à manutenção da estabilidade do produto, como ao custo. Sempre observando também a funcionalidade no envase, no transporte, no armazenamento e sua utilização pelo consumidor final.

Para saber qual filme escolher é preciso entender qual a umidade crítica do produto, a fim de identificar o filme plástico ideal que garanta a barreira adequada a permeabilidade ao vapor de água. Fazendo assim com que a umidade no interior da embalagem não ultrapasse os limites definidos como críticos. Para tanto, é preciso realizar um estudo que pontue e analise quais características de qualidade do

shiitake são as mais significativas para que as mesmas possam ser mantidas, garantindo assim a vida-de-prateleira definida de um ano.

2.6.3 – Estimativa de vida-de-prateleira de produtos desidratados

A estimativa da vida-de-prateleira de produtos desidratados, com base na taxa de permeabilidade ao vapor de água, é fundamental para a escolha correta da embalagem a ser projetada.

2.6.3.1 – Como são realizadas as estimativas de vida-de-prateleira

Tradicionalmente, os produtos são embalados e estocados em condições de análise periódicas para avaliação da deterioração do produto e/ou aceitabilidade organoléptica. Entretanto, além de caros, esses estudos levam muito tempo para serem concluídos. Para contornar este problema, foram desenvolvidas várias formulações, nas quais a vida-de-prateleira de um produto desidratado, quando acondicionado em uma embalagem flexível, pudesse ser determinada. Neste caso, assume-se que a integridade do produto depende somente do teor de umidade presente no interior da embalagem (MADI et al, 1979).

O cogumelo shiitake desidratado é muito sensível à umidade. Dessa forma, o fator limitante de sua vida-de-prateleira é exclusivamente o ganho de água. Assim, outros fatores interferentes (bioquímicos e químicos) para a perda de qualidade do produto passam a ser secundários (ALVES, 1998).

2.6.3.2 – Equação para o cálculo das estimativas de vida-de-prateleira

Quando uma embalagem protege um produto contra a passagem de umidade, a transferência do vapor de água de fora da embalagem para dentro é lenta. Pode-se, portanto, assumir que conforme o vapor de água atravessa a embalagem, vai se distribuindo da mesma forma pelo produto alimentício e, dessa forma, o fenômeno que rege esse ganho de umidade é a transferência do exterior para o interior da embalagem (MADI et al, 1979).

São várias as equações existentes para se estimar a vida-de-prateleira de produtos alimentícios. As equações (1) e (2) fornecem uma boa precisão nos resultados e facilidade nos cálculos.

$$\ln \left[\frac{U_e - U_0}{U_e - U_m} \right] = \frac{k \times A \times P_{sat.}}{I \times M \times \alpha} \times t \quad \text{eq. (1)}$$

e

$$T.P.V.A. = \frac{k \times P_{sat.} \times U_R}{I} \quad \text{eq. (2)}$$

Onde,

$U_R \times \alpha = U_e$ = umidade de equilíbrio do produto (%)

U_0 = umidade inicial do produto (%)

U_m = umidade máxima do produto (%)

I = espessura do filme da embalagem (μ)

M = massa do produto embalado (g)

α = tangente da isoterma

k = permeabilidade da embalagem ao vapor d'água ($g \times \mu / m^2 \times dia \times mmHg$)

$P_{sat.}$ = Pressão de saturação

Vale ressaltar que essa equação é válida apenas para intervalos de teor de umidade onde a curva da isoterma de adsorção possa ser aproximada com um erro pequeno por uma reta que passa pela origem (MADI et al, 1979).

É preciso, entretanto, conhecer muito bem todas as variáveis a serem utilizadas no cálculo em questão.

Os cálculos matemáticos para obtenção das equações acima são apresentadas no Anexo 1 (Demonstrativo da determinação da fórmula matemática de cálculo da T.P.V.A.) desse trabalho.

3. METODOLOGIA

Inicialmente, foram realizados experimentos específicos para recomendar um padrão nacional para o cogumelo shiitake desidratado a partir de diferentes marcas japonesas e chinesas desse produto, tidas como referência de qualidade pelas indústrias alimentícias entrevistadas. A seguir, foi parametrizado o processo de secagem para o produto shiitake brasileiro *in natura* e realizada a caracterização do produto desidratado através de análise sensorial. Posteriormente foi possível especificar o material de embalagem mais adequada para a conservação, por um ano, de 1 kg do produto com base na T.P.V.A. (taxa de permeabilidade ao vapor d'água) determinada para duas condições ambientes.

3.1 – Caracterização dos produtos desidratados disponíveis no mercado

Para a caracterização dos produtos disponíveis no mercado foi necessário entender a forma com a qual o shiitake é apresentado.

3.1.1 – Descrição das amostras de shiitake

Para a realização dos experimentos foi preciso avaliar e analisar amostras de shiitake obtidas do mercado. A vida-de-prateleira dos produtos desidratados adquiridos variavam de 6 meses até 2 anos.

3.1.2 - Determinação da umidade do cogumelo shiitake desidratado.

Essa análise consiste em determinar o teor de umidade das marcas *Wang*, *Hiroya*, *Shandong*, *Kohyou*, *Marukai* e *Shanghai* de shiitake desidratado, importadas da China e Japão.

Os valores relativos à umidade foram determinados em estufa com renovação e circulação de ar Modelo: MA037, fabricante: Marconi equipamentos para laboratório, com balança analítica do fabricante Micronal com capacidade para 160g e placas de Petri de vidro.

O teor de umidade do shiitake foi determinado seguindo o método D245.4 de ASAE (*American Society of Agricultural Engineers*), que consiste na secagem em estufa com circulação de ar a uma temperatura de 105ºC por 24 horas (ASAE, 1999).

As seis amostras avaliadas não sofreram qualquer tipo de modificação para a realização das análises. Durante o fracionamento nas placas de petri, todo o cuidado necessário foi observado, a fim de não expor o produto ao ambiente, evitando assim a alteração de sua umidade.

3.1.3 - Determinação da isoterma de adsorção do shiitake desidratado

Foi escolhida a isoterma de adsorção para conhecer a forma como o produto desidratado ganha água, quando exposto a diferentes condições de umidade relativa. É fato que algumas distorções podem ocorrer em virtude das possíveis alterações sofridas na estrutura do shiitake durante o processo de desidratação ou ainda, em função de possíveis variações nas condições ambientais, como variações de temperatura, conforme afirmado em Cabral et al. (s.d.).

Como base desse estudo e admitindo que as isotermas dos cogumelos shiitake desidratados sejam semelhantes, foi escolhida para essa análise a marca de shiitake desidratado *Wang*, importado da China.

Foram utilizados para esse experimento os sais inorgânicos: cloreto de lítio, cloreto de magnésio, carbonato de potássio, brometo de sódio, iodeto de potássio, cloreto de sódio, sulfato de amônia, cloreto de potássio, cloreto de bário e sulfato de potássio; balança analítica do fabricante Micronal com capacidade de 160 g, dessecadores e placas de Petri de vidro.

A determinação da isoterma de adsorção consiste na exposição de amostras desidratadas de 1 g do produto em dessecadores acondicionados à temperatura

ambiente constante de 25ºC e umidades relativas de 11,3% a 97,5%, durante 15 dias, conforme indicado por Madi (1979).

A relação dos sais utilizados e as umidades relativas obtidas com cada um deles são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Umidades relativas encontradas com soluções salinas saturadas a 25 ºC.

Solução	UR (%)
Cloreto de Lítio	11,3
Cloreto de Magnésio	32,8
Carbonato de Potássio	43,2
Brometo de Sódio	57,6
Iodeto de Potássio	68,9
Cloreto de Sódio	75,1
Sulfato de Amônia	80,3
Cloreto de Potássio	84,2
Cloreto de Bário	90,3
Sulfato de Potássio	97,5

FONTE: (JARDIM; GERMER, 1997)

3.2 - Determinação das condições de secagem do cogumelo shiitake nacional

Deve-se considerar, preliminarmente, a origem do produto. No caso, é necessário admitir que a maior parte do shiitake a ser desidratado seja fornecida por pequenos e médios produtores que trabalham em condições diversas. Não haverá, portanto, regularidade quanto ao tamanho das unidades do produto. Na busca de uma melhor homogeneização das amostras, o produto a ser desidratado foi fatiado em pedaços de 0,3mm a 0,5mm de espessura, descartando suas hastes, chamadas de “caule”, conforme apresentado na Figura 17. Vale observar que as hastes descartadas nesse experimento poderiam ser processadas e comercializadas, não sendo consideradas como perdas, porém, esse procedimento baseou-se em referências de produtos chineses da marca *Mountains*, adquiridas no bairro da Liberdade (SP) em embalagens de 50 g e 100 g, apresentadas na Figura 18.



Figura 17. Processo de desidratação.



Figura 18. Embalagens de 100 g e 50 g de shiitake desidratado importado da China, marca *Mountains*.

Como os cogumelos a serem desidratados eram provenientes de diferentes situações de cultivo e de manuseio, a umidade inicial dos produtos também não foi uniforme, visto que essa característica é fruto das condições nas quais o shiitake foi colhido e armazenado. Para que a secagem tenha início é imprescindível que se iguale a umidade dos shiitake *in natura*.

Foi observado, através da experiência, adquirida na prática pelos produtores de cogumelo shiitake visitados, que a redução e a padronização da umidade do produto *in natura*, antes do envase, podem ser obtidas por meio da exposição dos cogumelos posicionados de cabeça para baixo, sobre uma tela do tipo mosquiteiro, com ventilação de ar forçada por ventiladores durante 1 hora. Por essa razão, e considerando os bons resultados obtidos pelos produtores, o mesmo procedimento

foi utilizado nesse trabalho para homogeneização da umidade inicial do shiitake. Depois, seguindo a mesma metodologia da adotada para a determinação de umidade do shiitake desidratado, foi determinada a umidade inicial do cogumelo shiitake *in natura* a ser desidratado.

Posteriormente, os cogumelos foram desidratados em um sistema de bandejas acoplados a uma balança, por um secador modelo *Tray Drier*, apresentado nas Figuras 19 e 20, com termômetro Minipa, modelo MT – 520 e balança semi-analítica Micronal, modelo B6000, capacidade: 6000 g.



Figura 19. Secador *tray Drier* (túnel externo)

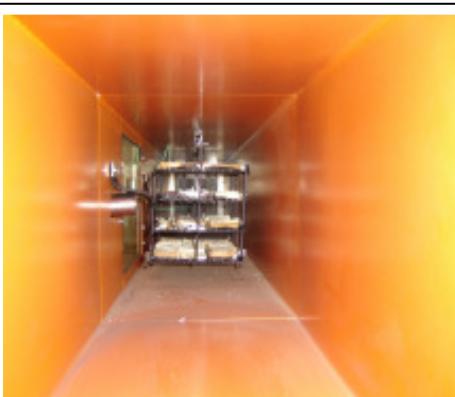


Figura 20. Secador *tray Drier* (túnel interno)

A temperatura do produto variou durante o processo de secagem de 30,1°C até 45,4°C. A velocidade do ar também variou. No início foi utilizada a velocidade máxima do equipamento (1,6 m / s), sendo paulatinamente reduzida até a fase final da secagem, quando foi interrompida.

Este método foi baseado na curva de secagem obtida por Przybylowicz (1988). Porém, ajustes foram necessários, pois as amostras a serem desidratadas foram fatiadas, o que facilita a retirada da água do produto, desidratando-o de forma mais rápida e homogênea, enquanto os da curva de referência estavam inteiros.

Ao iniciar o experimento, ajustou-se a temperatura do ar de secagem para 50ºC, baseando-se no estudo realizado por Sampaio e Queiroz (2006). O produto foi exposto sobre quatro bandejas perfuradas, acopladas a uma balança semi-analítica com precisão de 4 algarismos significativos, apresentada na Figura 21. Esse procedimento possibilitou o acompanhamento da variação da massa de água do produto durante todo o processo de secagem.



Figura 21. Acondicionamento do cogumelo shiitake em quatro bandejas perfuradas para o processo de secagem.

Para a obtenção das temperaturas do produto e do ar ao longo da secagem, foram utilizados dois termopares: um acondicionado entre as badejas e outro colocado no interior de um pedaço de shiitake. Ambos com precisão de 3 algarismos significativos, conforme apresentado na Figura 22.



Figura 1. Balança e mini-analítica ligada às bandejas com shiitake para o acompanhamento da perda de massa do produto.

3.3– Avaliação sensorial do shiitake e determinação da sua umidade crítica

As amostras foram submetidas à análise sensorial, utilizando-se o método do perfil de livre escolha, onde cada provador desenvolve e utiliza a sua própria lista para a avaliação do produto, tendo somente de respeitar um protocolo de avaliação definido pelo responsável pelo painel (NORONHA, 2003).

Antes da análise sensorial foi realizada uma reunião do grupo de provadores, composto por 5 engenheiros de alimentos, para estabelecer consenso sobre as características de qualidade a serem avaliadas. Ficou então definido que a característica principal a ser comparada seria a de crocância, em virtude da importância a ela atribuída pelas indústrias de alimentos entrevistadas. Entretanto, julgou-se também oportuno avaliar as características de qualidade de odor, aparência e sabor do shiitake.

Para a avaliação da crocância do shiitake desidratado o padrão adotado foi o cogumelo chinês da marca *Wang*, adquirido no bairro da Liberdade (SP). Os

materiais e método utilizados para acondicioná-lo em diferentes umidades relativas foram os mesmos daqueles utilizados para a determinação da isoterma de adsorção.

Já para as demais características avaliadas, o padrão adotado foi o shiitake *in natura* da marca Sítio Cachoeirinha, adquirido da Kogumelo's Distribuidora de Produtos Alimentícios Ltda. Nesse caso, diferente da avaliação realizada para a crocância, as amostras do shiitake foram hidratadas seguindo o procedimento de colocá-las em água fria por 5 horas, conforme definido por Tatezawa (s.d.)

Durante a análise da crocância, as amostras foram comparadas aos padrões e notas de 0 a 10 atribuídas para cada uma delas, sendo que a aprovação ocorreria apenas para notas ≥ 6 . Para o cogumelo desidratado da marca *Wang* (padrão) foi estabelecida a nota 8 como limite máximo. Não foi considerada a nota 10 pelo fato do produto, com validade de 2 anos, ter sido analisado após 6 meses de embalado, pois se entende que desde sua desidratação, passando por esse período, o shiitake desidratado absorveu umidade e sua crocância, portanto, diminuiu. Foi caracterizado como a umidade crítica nesse trabalho, qualquer valor de umidade menor que a umidade crítica determinada.

Já para o cogumelo *in natura* da marca Sítio Cachoeirinha, utilizado como padrão para as demais características, atribuiu-se nota 10.

3.4 – Desenvolvimento da embalagem mais adequada para o shiitake nacional desidratado

Para desenvolver a embalagem mais adequada ao shiitake nacional desidratado é preciso entender o que o consumidor desse produto espera.

3.4.1 – O que o consumidor deseja

A partir de entrevistas realizadas com 3 grandes indústrias fabricantes de alimentos, interessadas no produto shiitake desidratado, algumas necessidades foram enumeradas, sendo essas fundamentais para o desenvolvimento da embalagem. É

importante salientar que sempre é preciso entender o que o consumidor deseja antes de desenvolver uma embalagem.

3.4.2 – Como o produto foi envasado

A embalagem desenvolvida foi do tipo institucional, com a finalidade de ser vendida diretamente para as indústrias. Definiu-se que o filme não seria impresso e uma etiqueta adesiva seria colada na embalagem com as informações legais necessárias. Em virtude do processo de desidratação do shiitake ser lento, não justificando investimentos em envase automático, as embalagens com 1 kg, de shiitake desidratado foram envasadas e seladas manualmente em uma seladora de pedal. Isso posto, fica claro que o filme flexível a ser escolhido, além de garantir a resistência à umidade necessária à embalagem, deveria ser de fácil selagem.

Depois de embalados, os sacos serão acondicionados em caixas de papelão, devidamente paletizadas com *streich* e cantoneiras, a fim de garantir um perfeito acondicionamento e armazenamento do produto durante sua estocagem e transporte ao destino final.

3.4.3 – A distribuição do produto

Além do percurso a ser seguido, o clima da região onde o produto será oferecido é de suma importância na escolha da embalagem. Conhecer as variações de temperatura e a umidade relativa nas quais as embalagens serão expostas é fundamental para se especificar a embalagem mais adequada.

Nesse trabalho, a produção do shiitake desidratado visou atender todo o território nacional. Dessa forma, de uma região a outra do país, são muito grandes as diferenças de temperatura e umidade relativa. Por essa razão, o estudo da embalagem foi realizado em duas condições distintas, a saber:

- a. Condição 1: 75%UR; temperatura = 25°C
- b. Condição 2: 90%UR; temperatura = 38°C

3.4.4 – A proteção da embalagem

O cogumelo desidratado, assim como qualquer outro produto desidratado possui uma crocância específica em virtude do baixo teor de água que resta em sua estrutura. A entrada de água é a principal causa da sua perda de qualidade, e, portanto, especificar a embalagem adequada é fundamental.

3.5 – Cálculo da T.P.V.A. da embalagem para vida-de-prateleira de 1 ano em condições pré-estabelecidas

Os cálculos para a escolha do filme a ser utilizado na embalagem com base nos valores encontrados de T.P.V.A são bastante confiáveis. Para determiná-la é preciso conhecer o valor de k (taxa de permeabilidade), que pode ser obtido através da equação (1) já apresentada. Para tanto, a partir dos experimentos realizados e coleta de dados da literatura, é necessário encontrar os valores de todas as outras variáveis da equação (1), apresentadas a seguir.

a. α = tangente da isoterma

Cada produto possui uma isoterma característica e cujo conhecimento é fundamental para o projeto racional de embalagem (MADI et al, 1979). A variável α é o coeficiente angular da equação da reta construída a partir da isoterma de adsorção determinada.

b. U_e = umidade de equilíbrio do produto (%)

Como serão estudadas duas condições de temperatura e umidade, serão encontradas duas umidades de equilíbrio: $U_{e75\%}$ e $U_{e90\%}$, pela relação $UR \times \alpha = U_e$, proposta por Madi (1979).

c. U_0 = umidade inicial do produto (%)

A umidade inicial foi caracterizada como sendo a média da umidade encontrada na avaliação das marcas de shiitake desidratado *Wang*, *Hiroya*, *Shandong*, *Kohyou*, *Matukai* e *Shanghai*, importados da China e Japão, adquiridas no bairro da Liberdade em São Paulo.

d. Um = umidade máxima do produto (%)

A umidade máxima do produto é caracterizada também como a umidade crítica, pois representa o limite máximo da umidade que garante a manutenção da característica de crocância do produto, e foi definida na análise sensorial.

e. M = massa do produto (gramas)

f. t = vida-de-prateleira,(dias)

A quantidade do produto a ser embalado (M) e o tempo no qual a embalagem deverá garantir a crocância do shiitake (t) foram definidos através de entrevistas realizadas com indústrias de alimentos.

g. A = Área da embalagem

A área da embalagem foi desenvolvida com para conter 1kg de shiitake desidratado.

h. $P_{sat.}$ = pressão de saturação do vapor d'água

Esse valor pode ser encontrado no Anexo 2 (Pressão de vapor d'água entre 0°C e 100°C mmHg), e varia de acordo com a temperatura estudada. Como são duas as condições de armazenamento a serem avaliadas serão dois os valores de $P_{sat.}$

i. k = permeabilidade da embalagem ao vapor d'água ($g \times \mu / m^2 \times dia \times mmHg$)

k é a variável a ser determinada a partir da equação (1). Após sua determinação, e utilizando a equação (2), já apresentada, é possível determinar a T.P.V.A. nas condições propostas.

3.6 – Desenvolvimento da embalagem

Na determinação do filme mais adequado para o desenvolvimento da embalagem para o shiitake desidratado é preciso considerar quatro variáveis principais, conforme proposto por Reis (s.d.): o tipo de resina utilizado, a espessura

do material, o processo de fabricação do filme e as condições de temperatura e umidade ambiente. Essas variáveis são fundamentais e estão diretamente relacionadas com a T.P.V.A.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa etapa, todos os resultados obtidos com base na metodologia proposta são apresentados de forma simplificada. Cálculos mais aprofundados e tabelas mais extensas com os resultados obtidos em alguns experimentos seguem apresentados nos apêndices desse trabalho.

4.1 – Caracterização dos produtos desidratados disponíveis no mercado

Em pesquisa de campo realizada em supermercados, feiras livres e empórios, o shiitake desidratado nacional, quando encontrado, apresentava-se em embalagens que variavam de 20 a 100 g. Apenas no bairro da Liberdade em São Paulo, no comércio especializado, foram adquiridas as amostras utilizadas nos experimentos, tidas como padrão de qualidade pelas indústrias de alimentos entrevistadas, variando de 50 a 500 g.

4.1.1 – Descrição das amostras de shiitake

Os produtos apresentavam-se ora desidratados inteiros, ora fatiados. Entretanto, somente nas amostras desidratadas inteiras foi detectada a presença da haste de sustentação do shiitake, por muitos chamados de “caule”, como pode ser observado nas Figuras 23 e 24.



Figura 23. Amostras de shiitake desidratado inteiro.



Figura 24. Amostras de shiitake desidratado inteiro e fatiado.

Por serem embalagens destinadas ao varejo, todas muito coloridas. Os produtos estavam sempre embalados em filmes flexíveis, impressos em até quatro cores, com todos os dizeres legais e muitas áreas transparentes para observar o produto desidratado.

4.1.2 - Determinação da umidade do cogumelo shiitake desidratado

Na Tabela 6 seguem os valores de umidade encontrados nas marcas de shiitake desidratados avaliados.

Tabela 6. Umidade medida de amostras de shiitake importados da China e Japão.

Amostras	Umidade inicial dos shiitake analisados na pesquisa (%)					
	marcas dos shiitake importados desidratados					
	Wang	Hiroya	Shandong	Kohyou	Matukai	Shanghai
Média	10,9	11,3	11,0	10,7	10,8	10,5
DP	0,2	0,2	0,6	0,4	0,7	0,3

As umidades apresentaram-se dentro do intervalo de 10,51% a 11,28%. Todos os valores de umidade medidos para a construção da Tabela 6, são apresentados no Apêndice 1 (Umidade medida das amostras de shiitake importados da China e Japão).

Como a principal característica de qualidade apontada nas entrevistas com indústrias alimentícias foi a crocância, e a umidade do produto está diretamente

relacionada a ela, adotou-se como referência que a umidade final do shiitake desidratado nacional não pode exceder a média dos valores encontrados no mercado. Ou seja, não pode exceder 10,86% (bu), valor esse com 4 algarismos significativos em função da precisão da balança semi-analítica utilizada na pesagem das amostras.

Foi considerada a média dos valores encontrados nos produtos expostos em prateleira como referência, pois se estima que no momento da embalagem, em sua origem, os produtos avaliados apresentavam faixas ainda menores de umidade. Pois apenas ao saírem do processo de desidratação estavam na sua forma mais seca. Com o tempo de armazenamento os produtos vão, aos poucos, ganhando umidade, mesmos protegidos.

4.1.3 - Determinação da isoterma de adsorção do shiitake desidratado

Na Figura 25 segue a isoterma de adsorção encontrada, onde se evidenciou uma curva de forma sigmoidal, classificada como isoterma do tipo II, de acordo com Brunauer et al citado por Rizvi (1986).

A base de dados para obtenção da isoterma de adsorção encontra-se no Apêndice 2 (Determinação da média da umidade de equilíbrio para obtenção da isoterma de adsorção do shiitake).

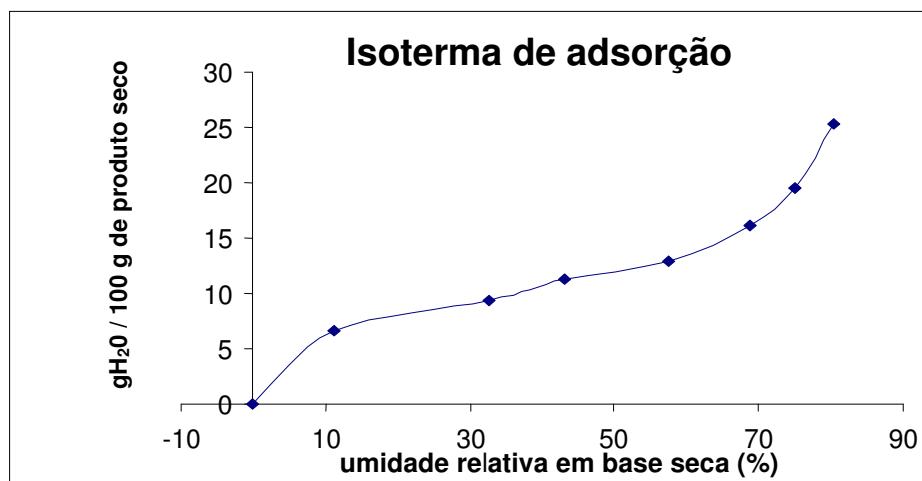


Figura 25. Isoterma de adsorção do cogumelo shiitake desidratado.

Com base nos dados obtidos, foi possível encontrar a equação da reta que melhor se ajusta ao modelo encontrado, conforme apresentado na Figura 26 e representado na equação (3).

$$y = 0,1925x + 3,2891 \quad \text{eq. (3)}$$

com $R^2 = 0,9447$

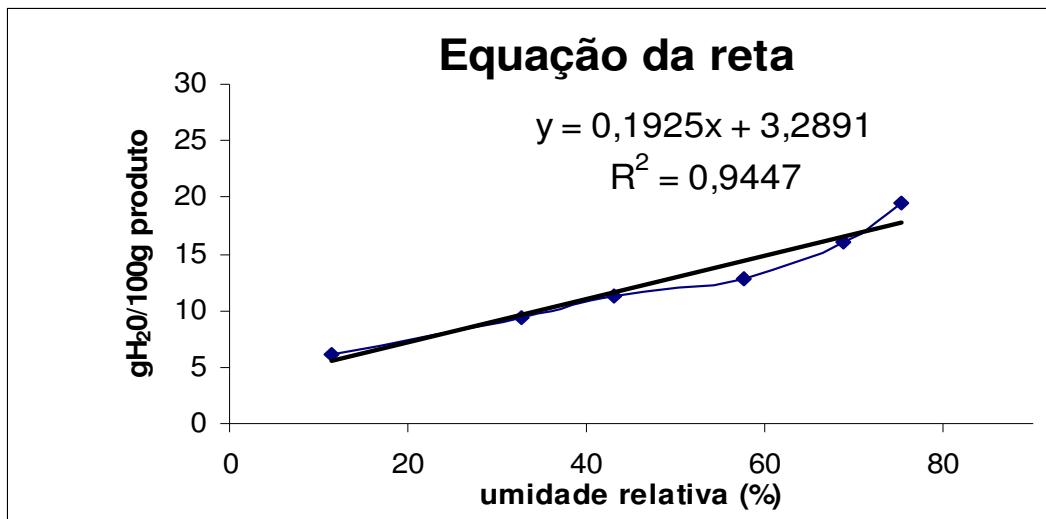


Figura 26. Determinação da equação da reta obtida a partir da isoterma.

A equação da reta encontrada contempla estocagens em até 75,1% de umidade, pois os pontos encontrados a 80,0% de umidade foram descartados por apresentarem desvios significativos. Para umidades superiores a 75,1% os valores devem ser extrapolados.

4.2 - Determinação das condições de secagem do cogumelo shiitake nacional

A umidade inicial medida do shiitake *in natura* utilizado para a secagem foi de 92,44%. Os valores obtidos para sua determinação são apresentados no Apêndice 3 (Determinação da umidade inicial do shiitake *in natura*).

Na Figura 27 segue representada a variação da temperatura do cogumelo shiitake durante o processo de desidratação.

Com a relação observada entre a massa do shiitake e o tempo de secagem, foi possível também encontrar a curva de secagem do shiitake (Figura 28).

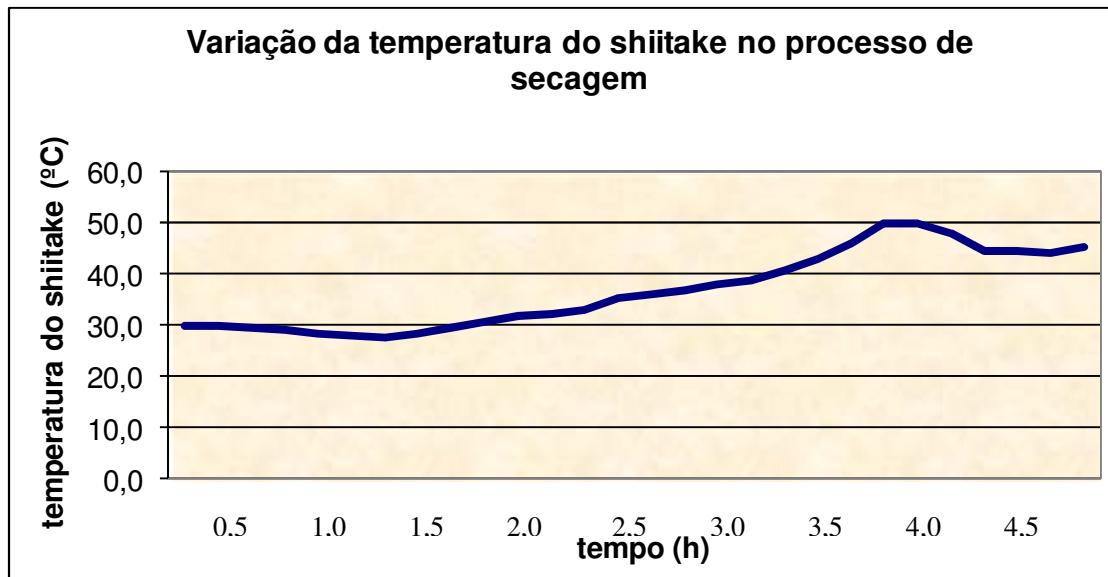


Figura 27. Variação da temperatura interna do shiitake durante o processo de secagem.

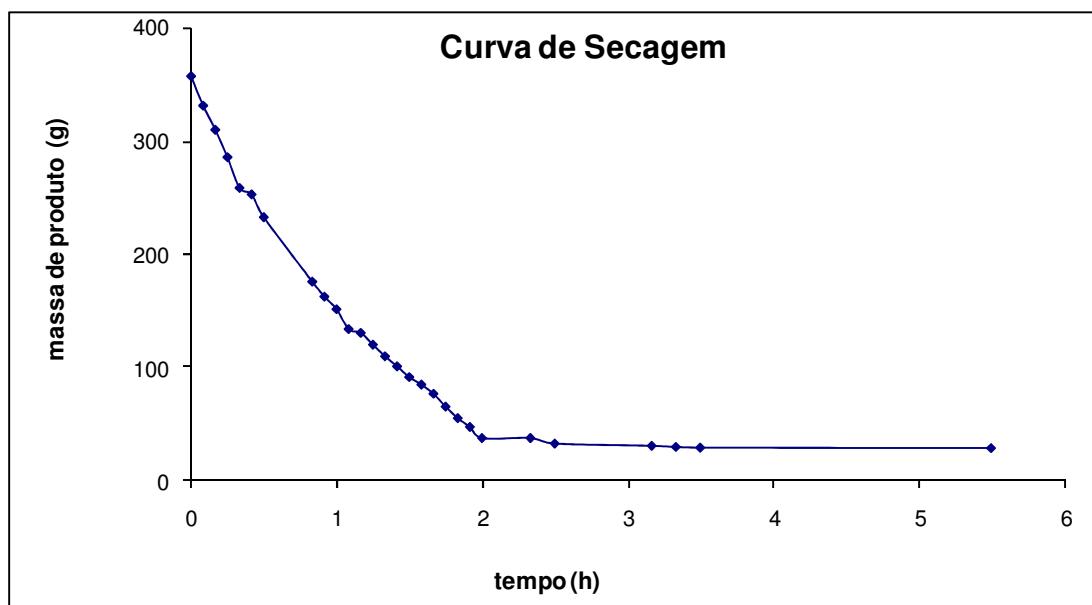


Figura 28. Curva de secagem do shiitake.

Os dados para a construção dos gráficos apresentados nas Figuras 27 e 28 são apresentados no Apêndice 4 (Medidas obtidas no processo de secagem do cogumelo shiitake).

4.3 – Avaliação sensorial do produto e determinação da umidade crítica do shiitake

A principal característica de qualidade a ser determinada foi a crocância. Após a avaliação sensorial do shiitake desidratado, identificou-se que as amostras acondicionadas no dessecador com solução salina de Carbonato de Potássio (K_2CO_3), em equilíbrio com $UR = 43,16\%$, receberam nota média de 6,3, portanto, dentro dos níveis aceitáveis para o produto, conforme definido nas premissas adotadas para essa análise. Relacionando a atividade de água ao teor de umidade do produto, conforme proposto em Cabral et al. (s.d.), pode-se admitir que a atividade de água limite do produto é de 0,43 e sua umidade crítica = 43,16%.

Outras características de qualidade foram também avaliadas, como forma de enriquecer o trabalho e verificar a nota atribuída a cada uma delas na atividade de água 0,43. As características de odor, aparência e textura tiveram nota média de 6,9, 6,8 e 6,3, respectivamente. Todas as notas médias atribuídas na análise sensorial são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Notas médias conferidas às características de crocância, odor, aparência e textura do shiitake.

Nota média atribuída a partir da Análise Sensorial					
Características de Qualidade	Atividade de água				
	0,11	0,43	0,58	0,69	0,75
Crocância	7,8	6,3	4,5	3,1	1,7
Odor	8,6	6,9	5,3	3,4	1,6
Aparência	9,1	6,8	5,0	3,4	1,8
Textura	8,3	6,3	5,6	5,3	4,2

4.4 – Desenvolvimento da embalagem mais adequada para o shiitake nacional desidratado

A especificação de embalagens para produtos desidratados, sensíveis à umidade, requer o conhecimento do nível de proteção oferecido pelos materiais da embalagem e estocagem em condições adequadas (SARANTÓPOULOS; OLIVEIRA; CANAVESE, 2001).

Para a escolha do filme ideal, faz-se necessária uma análise bem fundamentada para identificar, com base na umidade crítica do produto embalado, qual a T.P.V.A. do filme a ser utilizado na embalagem.

4.5 - Cálculo da T.P.V.A. necessária para a embalagem do shiitake desidratado

Seguem os resultados dos cálculos realizados para determinação de todas as variáveis necessárias na busca da taxa de permeabilidade ideal da embalagem projetada.

- a. α = tangente da isoterma = 0,1925
- b. $U_e = UR \times \alpha = U_{e75\%} = 14,44$ e $U_{e90\%} = 17,32$
- c. $U_o = U_o = 10,86\%$ (bu)
- d. $U_m = 43,16\%$
- e. $M = 1.000$ g.
- f. $t = 360$ dias
- g. $A = 0,585\text{m}^2$, apresentado no Apêndice 5 (Determinação da área da embalagem calculada empiricamente)
- h. $Psat. = Psat. 25^\circ\text{C} = 23,756 \text{ mmHg}$ e $Psat. 38^\circ\text{C} = 46,692 \text{ mmHg}$
- i. k = variável determinada a seguir

Admitindo-se $I = 100\mu$, tem-se:

1^a condição: $UR = 75\%$ e $\text{Temperatura} = 25^\circ\text{C}$,
 $k = 8,01 \text{ g/m}^2 \times \text{dia} \times \text{mmHg}$ e $T.P.V.A. = 1,43 \text{ g}_{H2O} / \text{m}^2 \times \text{dia}$.

2^a condição: UR = 90% e Temperatura = 38ºC,
 $k = 2,71 \text{ g/m}^2 \times \text{dia} \times \text{mmHg}$ e T.P.V.A. = $1,14 \text{ gH}_2\text{O} / \text{m}^2 \times \text{dia}$.

Os cálculos da constante k e da T.P.V.A. estão demonstrados no Apêndice 6 (Demonstrativo dos cálculos para obtenção da constante k e da T.P.V.A.).

4.6 – Desenvolvimento da embalagem

Dentre os materiais plásticos utilizados na fabricação de embalagens flexíveis, os que apresentam maior barreira ao vapor d'água são as poliolefinas. Para conhecer alguns, vale destacar que o polietileno de baixa densidade (PEBD) e o polietileno linear de baixa densidade (PEBDL) apresentam menor barreira ao vapor d'água que o polipropileno (PP) que, por sua vez, apresenta menor barreira ao vapor d'água que o polietileno de alta densidade (PEAD), o que pode ser representado como segue: (PEBD, PEBDL < PP < PEAD) (SARANTÓPOULOS; OLIVEIRA; CANAVESE, 2001).

Estruturas laminadas (ex. PET/PE ou PET/PP met.) ou coextrusadas (ex. PP/PE) podem ser utilizadas. Entretanto, são mais caras que as estruturas monocamadas (ex. 85% PELBD + 15% PEBD).

Com base nos resultados obtidos nos experimentos foi determinada a T.P.V.A. do filme a ser selecionado para a fabricação da embalagem do shiitake desidratado, em duas condições distintas, e para cada uma delas foram propostas diferentes especificações.

1^a condição: UR = 75% e Temperatura = 25ºC

Nessa condição pode-se trabalhar com estruturas monocamadas. Através dos valores de T.P.V.A. apresentados por Garcia et al. (1989), e com a interpolação desses valores para ajustá-los a temperatura de 25 ºC, é possível especificar que um filme de PEBD (polietileno de baixa densidade) de 100 μ para embalar o shiitake desidratado por apresentar T.P.V.A. < $1,43\text{gH}_2\text{O} / \text{m}^2 \times \text{dia}$. Vale ressaltar que os

valores obtidos por Garcia et al. (1989) consideraram ainda um ambiente com UR = 80%, sendo essa uma umidade ainda mais crítica da avaliada nesse estudo.

2^a condição: UR = 90% e Temperatura = 38ºC

Trata-se da condição mais crítica, e a especificação aqui definida servirá para as condições mais extremas. Como referência, para a escolha do filme, pode-se utilizar a Tabela 8, conforme proposto por Sarantópoulos et al. (2001).

Tabela 8. Taxas de permeabilidade ao vapor d'água e ao oxigênio de estruturas flexíveis.

Material	TPO ₂ a 25ºC e 1atm (cm ³ (CNTP)/m ² /dia/atm)	TPVA a 38ºC e 90%UR (gH ₂ O / m ² x dia)
PET/Al/PE	0,05 - 1,0	< 0,03 - 0,1
PETmet/PE	0,5 – 8,0	0,5 - 2,0
BOPP-PVDCmet/PE	2,0 - 10,0	0,5 - 1,5
BOPP/PE	700 – 3000	3,0 - 5,0
PET-PVDC/PE	8,0 10,0	5,0 - 7,0
BOPPmet/PEBD	10,0 100	1,5 - 4,0
PET/PA/PE	35,0 - 85,0	3,0 - 6,0
PET/PE	100 – 120	10,0 - 12,0
OPA/PE	50	3,5 - 6,0

FONTE: (SARANTÓPOULOS et al., 2001)

Estruturas como PET/Al/PE seriam superdimensionadas para o sistema de embalagem em questão, pois possuem T.P.V.A. que variam de valores < 0,03 até 0,1 gH₂O/m² x dia. Já a maioria das outras estruturas apresentadas não atende às necessidades calculadas, podendo comprometer a qualidade do produto.

Já se considerarmos um filme de BOPP-PVDCmet/PE , com espessura de 100 μ , por possuir uma T.P.V.A., variando de 0,5 – 1,5 gH₂O / m² x dia, é uma solução aceitável, pois a embalagem não será exposta sempre a temperatura e umidade tão elevadas, sendo essa a estrutura especificada para essa condição.

A estrutura de BOPP-PVDCmet./PE, além de ser adequada para UR = 90% e temperatura = 38ºC, também atende a condições menos exigentes de temperatura e umidade. Dessa forma, essa estrutura poderia ser utilizada como padrão para as mais diversas condições de armazenamento e transporte, como forma de garantir a qualidade da crocância em 1 kg de shiitake desidratado, durante 1 ano, contido em embalagem flexível com área de exposição de 0,585m².

Além dos resultados obtidos, pode-se utilizar as equações (1) e (2) apresentadas nesse trabalho, para estimar a conservação do shiitake variando o tempo de vida-de-prateleira, a área da embalagem, a espessura do filme da embalagem, dentre outras tantas possibilidades possíveis, que poderão ser ajustadas para o estudo do sistema que se necessita avaliar.

5 - CONCLUSÕES

Através do estudo realizado é possível garantir o suprimento do shiitake para as indústrias de alimentos atendendo aos padrões de qualidade desejados. Ou seja, produtos com crocância similar ao padrão encontrado provenientes da China e Japão, embalados em porções de 1 kg com garantia de estabilidade de suas propriedades por 1 ano.

As características de secagem observadas nesse trabalho devem ser seguidas para o sucesso da desidratação do shiitake. É fundamental que os produtores ou associações dispostas a suprir o mercado com o shiitake desidratado o façam com qualidade e dentro dos padrões aqui estabelecidos, como garantia de sucesso. A homogeneização inicial do shiitake *in natura*, antes da desidratação, é fundamental para garantir que todo o lote desidratado apresente a mesma umidade final.

A preocupação com as Boas Práticas de Fabricação, desde a inoculação do micélio do shiitake, até o envase do produto final é fundamental para o sucesso, garantindo a qualidade que o produto requer e transmitindo confiança às exigentes indústrias do setor alimentício, que agora terão a oportunidade de oferecer para a sociedade mais produtos saudáveis e nutritivos.

O resultado desse trabalho permitiu estabelecer um padrão nacional para o shiitake desidratado; determinar suas condições de secagem e especificar uma embalagem para 1 kg de produto que garanta a manutenção da característica de crocância por um ano.

Foi possível analisar o mercado, conhecer algumas das características particulares da produção do shiitake no Brasil e identificar as razões que levam a flutuação sazonal da oferta do shiitake no mercado brasileiro.

Como resultado das análises realizadas com base em amostras de shiitake desidratados da China e Japão, foi possível estabelecer um padrão nacional para a desidratação do cogumelo shiitake. A saber:

- a. O produto embalado será oferecido fatiado. Sua atividade de água máxima admitida é de 0,43 e, ao ser embalado, a umidade deve ser $\leq 10,86\%$.
- b. Com a definição da isoterma de adsorção do shiitake desidratado foi possível encontrar a equação da reta obtida a partir dessa isoterma ($y = 0,1925x + 3,2891$).

A parametrização da secagem do shiitake brasileiro *in natura* foi estudada e permite entender em que tempo e de que forma a água é extraída do produto durante esse processo.

Com base nos resultados obtidos, foi possível especificar a embalagem que confira estabilidade ao produto, de forma a garantir sua oferta constante às indústrias de alimentos ao longo do ano, independente da sazonalidade observada no mercado, conforme apresentado a seguir.

1^a condição:

UR = 75% e Temperatura = 25°C,

$k = 8,01 \text{ g/m}^2 \times \text{dia} \times \text{mmHg}$ e
T.P.V.A. = $1,43 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{m}^2 \times \text{dia}$.

Especificação do filme: PEBD 100 μ

2^a condição:

UR = 90% e Temperatura = 38°C,

$k = 2,71 \text{ g/m}^2 \times \text{dia} \times \text{mmHg}$ e
T.P.V.A. = $1,14 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{m}^2 \times \text{dia}$.

Especificação do filme: BOPP-PVDCmet./PE 100 μ

Dessa forma, esse trabalho apresenta caminhos para o desenvolvimento e lançamento de uma série de novos produtos saudáveis e nutritivos tendo como matéria-prima o cogumelo shiitake (*Lentinula edodes*) nacional desidratado.

6. SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

A análise realizada no decorrer desse trabalho foi complexa e detalhada. Começou com o estudo do que é o cogumelo shiitake, passando pelas suas características de produção, analisou o potencial de seu mercado consumidor; abrangeu as etapas da sua desidratação, passou por análises sensoriais e terminou com a especificação da embalagem para 1 kg do produto desidratado.

O estudo abre caminho para uma grande quantidade de projetos complementares a ele ou até mesmo similares. Abaixo seguem duas opções de sugestão.

1. Desenvolvimento do mesmo conceito de caracterização da curva de secagem e especificação de embalagem para outros cogumelos, conhecidos popularmente de pleurotus e shimeji.
2. Desenvolvimento de embalagens para o shiitake desidratado, em porções menores, de 50 g – 100 g, a fim de oferecê-lo também no varejo, viabilizando ainda mais a oferta de um produto saudável e nutritivo para a sociedade.

REFERÊNCIAS

1. ALVES, R. M. V. **Embalagem de alimentos: vida-de-prateleira.** Campinas: CETEA/ITAL, 1998. Não paginado. Apostila.
2. ANDRADE, M. C. N. **Crescimento micelial, produção e características bromatológicas do shiitake em função de linhagens e de propriedades físicas e químicas de espécies e clones de eucalipto,** 2007. 195f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
3. ANGELIS, D. F; GOES, A. C. L. de; PIÃO, A. C. S. ***Lentinus edodis* (Berk.) Pegler, o cogumelo shiitake.** Rio Claro. Disponível em: <<http://www.geocities.com/~esabio/cogumelo/lentinusedodis.htm>>. Acesso em 15 nov. 2005.
4. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE. **Official Methods of Analysis:** D245.4, Moisture Relationship of Grains, 1991. p. 363-367.
5. BONONI, V. L et al. **Cultivo de cogumelos comestíveis.** 2. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 206p.
6. CABRAL A. C. D et al. **Embalagens de produtos alimentícios.** Campinas: CETEA/ ITAL, [1983?]. 338p.
7. CABRAL, A. C. D. **Manual básico para desenvolvimento de embalagens flexíveis.** São Paulo: ABRAFLEX, 2000. 39p.
8. CASTOLDI, L. **Produção de anticorpos antitumoral por animais portadores do carcinoma experimental de Ehrlich e tratados com extrato aquoso do cogumelo medicinal *Lentinula edodes*,** 2002. Monografia (Bacharelado) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
9. EIRA, F. C.; MEIRELLES, W. F.; PACCOLA, L. D. Produção de shiitake em substratos à base de sabugo de milho. **Revista Brasileira e Milho e Sorgo**, v. 4, n. 2, p. 141-148, 2005. Disponível em: <http://www.abms.org.br/revista/revista_v4_n2/artigoA.htm>. Acesso em: 23 nov. 2008.
- 10.EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cogumelos comestíveis e medicinais serão tema de exposição da Embrapa em feira botânica.** Brasília, 2005. Disponível em: <[Erro! A referência de hiperlink não é válida.](#)>. Acesso em: 05 abr. 2006.
11. FERREIRA, J. E. F. **Produção de cogumelos.** Guaíba: Agropecuária, 1998. 137p.

12. FLEGG, P. B.; SPENCER, D. M.; WOOD, D. A. **The biology and technology of the cultivated mushroom**. Littlehampton, UK: Dorset, 1987.
13. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Statistics Databases**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat/>> form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&hasbulk=&version=ext&language=EN>. Acesso em: 05 abr. 2006.
14. FROTA, M. C. Cogumelo da madeira. **Revista Globo Rural**, São Paulo, n. 224, jun. 2004. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC738751-1641,00.html>>. Acesso em 12 mar. 2006.
15. GARCIA, E. H.; PADULA, M.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.. **Embalagens plásticas**: propriedades de barreiras. Campinas: ITAL, 1989. 44p.
16. ISHIKAWA, N. K.; KASUYA, M. C. M.; VANETTI, M. C. D. Atividade antibacteriana de *Lentinula edodes* cultivado em meio líquido. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 32, n. 3, ago./out. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-83822001000300008&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 15 nov. 2005.
17. JARDIM, D. C. P; GERMER, S. P. M. **Atividade de água em alimentos**. Campinas: ITAL, 1997.
18. JORNAL DA ILHA. **Pesquisa da UNESP auxilia cultivo do shiitake**. Ilha Solteira, 2005, Ano IV, nº. 231 p. A8. Disponível em <[Erro! A referência de hiperlink não é válida.](#)>. Acesso em: 17 nov. 2008.
19. LAROCCA, R. B., Embalagens: características e funções. **Revista ANAVE**, São Paulo, n. 103, p.16-17, mai./jun. 2002.
20. MADI, L. F. C et al. **Manual de projetos de embalagem para alimentos, com base na permeabilidade a gases e ao vapor de água**. Campinas, 1979. Paginação irregular.
21. MINHONI, M. T. A; ANDRADE, M. C. N; ZIED, D. C; FILHO, J. K. **Cultivo de Lentinula edodes (Berk.) Pegler – (Shiitake)**. Botucatu: FEPAF/UNESP, 2007. 91p.
22. MOURA, R. A.; BANZATO, J. M. **Embalagem: Acondicionamento, unitização & conteinerização**. São Paulo: IMAM, 1990. (Manual de movimentação de materiais, 2).

- 23.NETOPEDIA. **Nomenclatura e Classificação dos Seres Vivos**. Disponível em: <<http://netopedia.tripod.com/biolog/nomenc.htm>>. Acesso em 09 fev. 2008.
- 24.NORONHA, J. F.; **Apontamentos de análise sensorial**: análise sensorial – metodologia. Coimbra, Portugal: ESAC, 2003. V.1.
- 25.PASCHOLATI, S. F.; STANGARLIN, J. R.; PICCININ, E. **Cogumelos: cultivo e comercialização (shiitake e cogumelo do sol)**. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1998. 85 p. (Coleção Agroindústria, v.17).
- 26.PELCZAR, M. J.; REID, R.; CHAN E.C.S. **Microbiologia**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1980. v.1. 566p.
- 27.PICCININ, E. **Cultivo do cogumelo shiitake (*Lentinula edodes*) em toras de eucalipto**: teoria e prática. Edição especial. Piracicaba: ESALQ, 2000. 53 p. (Série Produtor Rural). Edição especial.
- 28.PRZYBYLOWICZ, P.; DONOGHUE, J. **Shiitake growers handbook: the art and science of mushroom cultivation**. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt, 1988. 217p.
- 29.ROCHA, S. C. **Os reinos dos seres vivos**. Disponível em: <<http://curlygirl.naturlink.pt/reinos.htm>>. Acesso em: 09 fev. 2008.
- 30.REIS, P. A. **Taxa de permeabilidade ao vapor d'água (TPVA) de filmes plásticos**. Campinas: CETEA/ITAL. Disponível em <[Erro! A referência de hiperlink não é válida.](#)>. Acesso em 18 nov. 2008.
- 31.RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. In: Rao, M. A.; Rizvi, S. S. H. **Engineering properties of foods**. New York: Marcel Dekker, 1986. p.133-214.
- 32.RODRIGUES, D. P. et al. **Embalagem para shiitake desidratado**. Trabalho de Graduação. São Caetano do Sul: CEUN/EEM, 2005. Não paginado.
- 33.SALA DE NOTÍCIAS. **Simpósio quer popularizar cogumelo**. set./2003. Disponível em: <http://www.mogidascruzes.sp.gov.br/noticias/2003_09_setembro/05092003%20 COGUMELO%20SIMPOSIO.htm>. Acesso em: 5 abr. 2006.
- 34.SAMPAIO, S. M; QUEIROZ, M. R. Influência do processo de secagem na qualidade do cogumelo shiitake. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, ago.2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162006000200027&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 24 jul. 2008.

35. SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M. de; CANAVESI, E. **Requisitos de conservação de alimentos em embalagens flexíveis.** Campinas: CETEA/ITAL, 2001. 215p.
36. SASAKI, S. H. et al. Linhagens de *Lentinula edodes* inibem fungos fitopatogênicos e o vírus da estomatite vesicular, sorotipo Alagoas. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 32, n. 1, jan./mar. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-83822001000100012&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 15 nov. 2005.
37. SINGER, R.; HARRIS, B. **Mushrooms and truffles: botany, cultivation, and utilization.** 2. ed. Germany: Koeltz Scientific, 1987.
38. STAMETS, P.; CHILTON, J. S. **The mushroom cultivator: A practical guide to growing mushrooms at home.** Olympia, Washington: Agarikon, 1983. 415p.
39. TATEZAWA, N. **Cultivo de shiitake no Brasil.** [S.I.]: APAN, 1992. 31p.
40. UEMURA, M. A.; GRECCO, M. N. **Manual sobre o cultivo do cogumelo shiitake.** Valinhos: [s.n.], [199-?]. 31p.
41. VILELA, P. S. **Cogumelos:** mercado e comercialização. FEAMG. Disponível em: <<http://www.faemg.org.br/Content.aspx?Code=353&ParentPath=None&ContentVersion=C>>. Acesso em: 5 abr. 2006.
42. ZORZENON, F. J. Pragas dos Cogumelos Comestíveis. In: REUNIÃO ITINERANTE DE FITOSSANIDADE DO INSTITUTO BIOLÓGICO, 2000, Mogi das Cruzes, **Anais da III reunião Itinerante de fitossanidade do Instituto Biológico.** São Paulo: APTA, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-83822001000100012&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 11. nov. 2008.

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Umidade medida das amostras de shiitake importados da China e Japão

APÊNDICE 2 – Determinação da média da umidade de equilíbrio para obtenção da isoterma de absorção do shiitake.

APÊNDICE 3 - Determinação da umidade inicial do shiitake *in natura*.

APÊNDICE 4 – Medidas obtidas no processo de secagem do cogumelo shiitake

APÊNDICE 5 – Determinação da área da embalagem calculada empiricamente

APÊNDICE 6 – Demonstrativo dos cálculos para obtenção da constante k (taxa de permeabilidade da embalagem) e da T.P.V.A. (taxa de permeabilidade do vapor d' água)

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 – Demonstrativo da determinação da fórmula matemática de cálculo da T.P.V.A.

ANEXO 2 - Pressão de vapor d'água entre 0ºC e 100ºC (mmHg).

Anexo 1

Demonstrativo da determinação da fórmula matemática para o cálculo da T.P.V.A.

Conforme demonstrado por Anjos (1998), serão agora demonstrados os parâmetros e lógica matemática adotada para demonstrar como se obtém a equação capaz de calcular a taxa de permeabilidade ideal para a embalagem que deverá conter o shiitake desidratado.

A equação de transferência de umidade do vapor d'água do exterior para o interior de embalagens flexíveis encontra-se representada na equação (1).

$$\frac{1}{A} = \frac{dm}{dt} = \frac{k}{l} \times (P_{ext.} - P_{int.}) \quad \text{eq. (1)}$$

onde:

A = área da embalagem (m^2);

l = espessura do filme a ser utilizado na embalagem (μ);

k = permeabilidade do filme ($g \times \mu / m^2 \times \text{dia} \times \text{mmHg}$);

$P_{ext.}$ = pressão de vapor d'água no exterior da embalagem (mmHg);

$P_{int.}$ = pressão de vapor d'água no interior da embalagem (mmHg);

m = massa de vapor d'água (gramas)

t = tempo (dias)

Multiplicando-se ambos os membros da eq. (1) por ($100 / M$), onde M representa a massa total de matéria seca dentro da embalagem, tem-se a equação (2):

$$d \left[\frac{\frac{m}{M} \times 100}{dt} \right] = \frac{100 \times k \times A}{l \times M} \times (P_{ext.} - P_{int.}) \quad \text{eq. (2)}$$

Como o termo ($m / M \times 100$) representa o teor de umidade (%) expresso sobre a matéria seca, pode-se igualar o termo: ($m / M \times 100$) = U e substituí-lo em (2), para obter-se então a equação (3):

$$\frac{dU}{dt} = \frac{100 \times k \times A}{l \times M} \times (P_{ext.} - P_{int.}) \quad \text{eq. (3)}$$

A equação diferencial (3) descreve a variação do teor de umidade do produto embalado em função do tempo de estocagem. Vale observar que o coeficiente abaixo representado contém apenas constantes físicas que descrevem o sistema

$$\frac{100 \times k \times A}{l \times M}$$

A pressão do vapor d'água no meio ambiente em que fica exposto o produto depende das condições climáticas, podendo variar bastante.

Outra premissa adotada é que a pressão de vapor de um ambiente é igual à pressão de vapor da água para a temperatura do ambiente, multiplicado pela umidade relativa do mesmo ambiente, tem-se a equação (4).

$$P_{ext.} = P_0 \times UR \quad \text{eq. (4)}$$

Os valores de pressão de vapor de água (P_0) entre 0 °C e 100 °C (mmHg) estão relacionados no Anexo 2 (Pressão de vapor d'água entre 0 °C e 100 °C, expressos em mmHg) desse trabalho.

Já a pressão do vapor d'água dentro da embalagem ($P_{int.}$) é função do teor de umidade do produto. Essa função constitui a isoterma de adsorção do produto, devidamente construída e apresentada nesse trabalho. Dessa forma, essa curva demonstra a relação entre o teor de umidade e a umidade relativa de equilíbrio (UR,%).

$$UR = \frac{P_{int.}}{P_{sat.}} \times 100 \quad \text{eq. (5)}$$

Onde,

$P_{sat.}$ é a pressão do vapor saturado d'água a uma determinada temperatura.

Assim sendo, uma vez que P_{sat} é conhecido e constante para condições isotérmicas, a umidade do produto é conhecida, e a umidade relativa de equilíbrio do produto pode ser obtida pela isoterma, é possível identificar P_{int} .

Admitindo que P_{int} é função da umidade U , tem-se a equação. (6).

$$P_{int} = f(U) \quad \text{eq. (6)}$$

Dessa forma, substituindo-se P_{int} em (3) por $f(U)$, a equação (3) poderá ser integrada. Passa então a ser possível calcular o tempo (t) necessário para que o teor de umidade passe de um valor inicial U_0 a um valor máximo permissível U_m .

Outra premissa adotada consiste no fato para um determinado intervalo de umidade a isoterma obtida pode ser aproximada, com erro pequeno, de uma reta que passa pela origem, obtendo-se a equação (7).

$$U = \alpha \times UR \quad \text{eq. (7)}$$

Então, com a combinação da eq. (7) com a eq. (4), tem-se a equação (8).

$$UR = 100 \alpha \times \frac{P_{int}}{P_{sat}}, \text{ portanto:}$$

$$UR = \frac{U \times P_{sat}}{100} \quad \text{eq. (8)}$$

Agora, substituindo-se (8) em (3), tem-se:

$$\frac{dU}{dt} = \left[\frac{100 \times k \times A}{I \times M} \right] \times \left[\frac{(P_{ext.} - U \times P_{sat})}{100 \alpha} \right]$$

Multiplicando-se a equação acima por $\frac{P_{sat}}{100 \alpha}$ e $\frac{100 \alpha}{P_{sat}}$, tem-se:

$$\frac{dU}{dt} = \left[\frac{100 \times k \times A}{I \times M} \right] \times \left[\frac{(P_{sat})}{100 \alpha} \right] \times \left[\frac{P_{ext.} \times 100 \alpha - U}{P_{sat}} \right]$$

$$\left[\frac{\frac{dU}{P_{ext.} \times 100 \alpha - U}}{P_{sat}} \right] = \left[\frac{100 \times k \times A}{I \times M} \right] \times \left[\frac{(P_{sat})}{100 \alpha} \right] dt$$

Integrando-se de U_0 a U_m , tem-se:

$$\ln \left\{ \frac{\frac{P_{ext.} \times 100 \alpha - U_0}{P_{sat.}}}{\frac{P_{ext.} \times 100 \alpha - U_m}{P_{sat.}}} \right\} = \frac{k \times A \times P_{sat.}}{I \times M \times \alpha} \times t$$

Como $P_{ext.} = \frac{P_{sat.} \times UR}{100}$, pode-se escrever esta equação da seguinte forma:

$$\ln \left\{ \frac{\frac{UR \times 100 \alpha - U_0}{UR \times 100 \alpha - U_m}}{1} \right\} = \frac{k \times A \times P_{sat.}}{I \times M \times \alpha} \times t, \text{ ou:}$$

$$\ln \left\{ \frac{\frac{U_e - U_0}{U_e - U_m}}{1} \right\} = \frac{k \times A \times P_{sat.}}{I \times M \times \alpha} \times t \quad \text{eq.(9)}$$

c.q.d.

Onde,

$UR \times \alpha = U_e = \text{umidade de equilíbrio do produto (%)}$

$U_0 = \text{umidade inicial do produto (%)}$

$U_m = \text{umidade máxima do produto (%)}$

$\alpha = \text{tangente da isoterma}$

$k = \text{permeabilidade da embalagem ao vapor d'água (g} \times \mu / m^2 \times \text{dia} \times \text{mmHg)}$

Agora é possível determinar a T.P.V.A., através da eq. (10).

$$T.P.V.A. = \frac{k \times P_{sat.} \times UR}{I} \quad \text{eq.(10)}$$

Anexo 2

Pressão de vapor d'água entre 0 °C e 100 °C (mmHg)

c.	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	4,579	4,613	4,647	4,681	4,715	4,750	4,785	4,820	4,855	4,890
1	4,926	4,962	4,998	5,034	5,070	5,107	5,144	5,181	5,219	5,256
2	5,294	5,332	5,370	5,408	5,447	5,486	5,525	5,565	5,605	5,645
3	5,685	5,725	5,766	5,807	5,848	5,889	5,931	5,973	6,015	6,058
4	6,101	6,144	6,187	6,230	6,274	6,318	6,363	6,408	6,453	6,498
5	6,543	6,589	6,635	6,681	6,728	6,775	6,822	6,869	6,917	6,965
6	7,013	7,062	7,111	7,160	7,209	7,259	7,309	7,360	7,411	7,462
7	7,513	7,565	7,617	7,669	7,722	7,775	7,828	7,882	7,936	7,990
8	8,045	8,100	8,155	8,211	8,267	8,323	8,380	8,437	8,494	8,551
9	8,609	8,668	8,727	8,786	8,845	8,905	8,965	8,025	9,086	9,147
10	9,209	9,210	9,333	9,395	9,458	9,521	9,585	9,649	9,714	9,779
11	9,844	9,910	9,970	10,042	10,109	10,176	10,244	10,312	10,380	10,449
12	10,518	10,588	10,658	10,728	10,799	10,870	10,941	11,013	11,085	11,158
13	11,231	11,305	11,379	11,453	11,528	11,604	11,680	11,756	11,833	11,910
14	11,987	12,065	12,144	12,223	12,302	12,382	12,462	12,543	12,624	12,706
15	12,788	12,087	12,953	13,037	13,121	13,205	13,290	13,375	13,461	13,547
16	13,634	13,721	13,809	13,898	13,987	14,076	14,166	14,256	14,347	14,438
17	14,530	14,622	14,715	14,809	14,903	14,997	15,092	15,188	15,284	15,380
18	15,477	15,575	15,673	15,772	15,871	15,971	16,071	16,171	16,272	16,374
19	16,477	16,581	16,685	16,789	16,894	16,999	17,105	17,212	17,319	17,427
20	17,535	17,644	17,753	17,863	17,974	18,085	18,197	18,309	18,422	18,536
21	18,650	18,765	18,880	18,996	19,113	19,231	19,349	19,468	19,587	19,707
22	19,827	19,948	20,070	20,193	20,316	20,440	20,565	20,690	20,815	20,941
23	21,068	21,196	21,324	21,453	21,583	21,714	21,845	21,977	22,110	22,243
24	22,377	22,512	22,648	22,785	22,922	23,060	23,198	23,337	23,476	23,616
25	23,756	23,897	24,039	24,182	24,326	24,471	24,617	24,764	24,912	25,060
26	25,209	25,359	25,509	25,660	25,812	25,964	26,117	26,271	26,426	26,582
27	26,739	26,897	27,055	27,214	27,374	27,535	27,696	27,858	28,021	28,185
28	28,349	28,514	28,680	28,847	29,015	29,184	29,354	29,525	29,697	29,870
29	30,043	30,217	30,392	30,568	30,745	30,923	31,102	31,281	31,461	31,642
30	31,824	32,007	32,191	32,376	32,561	32,747	32,934	33,122	33,312	33,503
31	33,695	33,888	34,082	34,276	34,471	34,667	34,864	35,062	35,261	35,462
32	35,663	35,865	36,068	36,272	36,477	36,683	36,891	37,099	37,308	37,518
33	37,729	37,942	38,155	38,369	38,584	38,801	39,018	39,237	39,457	39,677
34	39,898	40,121	40,344	40,569	40,796	41,023	41,251	41,180	41,710	41,942
35	42,175	42,409	42,644	42,880	43,117	43,355	43,595	43,836	44,078	44,320
36	44,563	44,808	45,054	45,301	45,549	45,799	46,050	46,302	46,556	46,811
37	47,067	47,324	47,582	47,841	48,102	48,364	48,627	48,891	49,157	49,424
38	49,692	49,961	50,231	50,502	50,774	51,048	51,823	51,600	51,897	52,160
39	52,442	52,725	53,009	53,294	53,580	53,867	54,156	54,446	54,737	55,030
40	55,324	55,610	55,910	56,210	56,510	56,810	57,110	57,410	57,720	58,030
41	58,340	58,650	58,960	59,270	59,580	59,900	60,220	60,540	60,860	61,180
42	61,500	61,820	62,140	62,470	62,800	63,130	63,460	63,790	64,120	64,460
43	64,800	65,140	65,480	65,820	66,160	66,510	66,860	67,210	67,560	67,910
44	68,260	68,610	68,970	69,330	69,690	70,050	70,410	70,770	71,140	71,510
45	71,880	72,250	72,620	72,990	73,360	73,740	74,120	74,500	74,880	75,260
46	75,650	76,040	76,430	76,820	77,210	77,600	78,000	78,400	78,800	79,200
47	79,600	80,000	80,410	80,820	81,230	81,640	82,050	82,460	82,870	83,290
48	83,710	84,130	84,560	84,990	85,420	85,850	86,280	86,710	87,140	87,580
49	88,020	88,460	88,900	89,340	89,790	90,240	90,690	91,140	91,590	92,050
50	92,510	97,200	102,090	107,200	112,510	118,040	123,800	129,820	136,080	142,600
60	149,380	156,430	163,770	171,380	179,310	187,540	196,090	204,960	214,170	223,730
70	233,700	243,900	254,600	265,700	277,200	289,100	301,400	314,100	327,300	341,000
80	355,100	369,700	384,900	400,300	426,800	433,600	450,900	468,700	487,100	506,100
90	525,760	527,760	529,770	531,780	533,800	535,820	537,860	539,900	541,950	544,000
91	546,050	548,110	550,180	552,260	554,350	556,440	558,530	560,640	562,750	564,870
92	566,990	569,120	571,260	573,400	575,550	577,710	579,870	582,040	584,220	586,410
93	588,600	290,800	593,000	595,210	597,430	599,660	601,890	604,130	606,380	608,640
94	610,900	613,170	615,440	617,720	620,010	622,310	624,610	626,920	629,240	631,570
95	633,900	636,240	638,590	640,940	643,300	645,670	648,050	650,430	652,820	656,220
96	657,620	660,030	662,450	664,880	667,310	669,750	672,200	674,660	677,120	679,690
97	682,070	684,550	687,040	689,540	692,050	694,570	697,100	699,630	702,170	704,710
98	707,270	709,830	712,400	714,980	717,560	720,150	722,750	725,360	727,930	730,610
99	733,240	735,880	738,530	741,180	743,850	746,520	749,200	751,890	754,580	757,290
100	760,000	762,720	756,450	768,190	770,930	773,680	776,440	779,220	782,000	784,780
101	787,570	790,370	793,180	796,000	798,820	801,660	804,500	807,350	810,210	813,080

Fonte: (ANJOS, 1998)

Apêndice 1

Umidade medida das amostras de shiitake importados da China e Japão

Amostras	Umidade inicial dos shiitakes analisados na pesquisa (%)					
	marcas dos shiitakes importados desidratados					
	Wang	Hiroya	Shandong	Kohyou	Matukai	Shanghai
1	11,05	11,06	11,34	10,32	10,70	10,82
2	10,76	11,32	11,76	11,31	10,50	10,81
3	10,61	11,26	10,83	10,73	9,65	10,35
4	11,02	11,13	10,24	10,45	11,09	10,65
5	10,93	11,29	11,64	10,26	10,93	10,12
6	11,06	11,61	10,82	10,72	11,66	10,29
Média	10,9	11,3	11,1	10,6	10,8	10,5
DP	0,2	0,2	0,6	0,4	0,7	0,3

Umidade inicial = U_o = médias dos valores obtidos

$$U_o = \frac{10,90 + 11,28 + 11,10 + 10,63 + 10,75 + 10,51}{6}$$

$$\begin{aligned} U_o &= 10,9 \text{ \%} \\ DP &= 0,3 \end{aligned}$$

Apêndice 2

Determinação da média da umidade de equilíbrio para obtenção da isoterma de adsorção do shiitake

DADOS MEDIDOS EM LABORATÓRIO PARA O TRAÇADO DA ISOTERMA DE ADSORÇÃO DO SHITAKE WANG DESIDRATADO																
Soluções salinas	Atividade de água	M _{sal} (g)	V _{H₂O} (mL)	M _{placa} (g)			M _{produtoinicial} (g)			M _{placa+produtofinal} (g)			M _{trocada} (g)			
1	Cloreto de Lítio	0,1130	727,52	850	46,6281	49,5252	49,5316	1,2120	1,4625	1,4277	47,7625	50,966	50,8595	-0,0776	-0,0215	-0,0998
2	Cloreto de Magnesio	0,3278	599,50	1000	47,5351	41,9066	48,4375	1,2679	1,5317	1,1697	48,7727	43,4250	49,9355	-0,0303	-0,0133	0,3283
3	Carbonato de Potássio	0,4316	950,01	780	37,9751	51,3199	49,5164	1,3134	1,2682	1,3067	39,3188	52,633	50,7698	0,0303	0,0444	-0,0533
4	Brometo de Sódio	0,5757	782,00	800	46,6287	42,7190	49,0817	1,2086	1,1870	1,3508	47,8625	43,924	50,4748	0,0252	0,0183	0,0423
5	Iodeto de Potássio	0,6886	486,34	320	48,4602	50,8308	47,8621	1,2923	1,5763	1,2409	49,8243	52,51	49,1812	0,0718	0,1033	0,0782
6	Cloreto de Sódio	0,7510	305,80	750	49,3879	31,7491	50,9781	1,2023	1,2981	1,5544	50,7173	33,186	52,7001	0,1271	0,1383	0,1676
7	Sulfato de Amonia	0,8030	122,24	1000	49,9093	41,0366	41,7318	1,3968	1,1183	1,2758	51,6146	42,386	43,2043	0,3085	0,2309	0,1967
8	Cloreto de Potássio	0,8420	374,00	1000	40,9332	50,4064	49,9147	1,2671	1,2526	1,1495	Amostras descartadas por apresentar contaminação microbiana					
9	Cloreto de Bário	0,9030	392,72	1000	38,1021	49,1273	48,6709	1,3775	1,2893	1,2434	Amostras descartadas por apresentar contaminação microbiana					
10	Sulfato de Potássio	0,9750	472,96	500	35,6043	41,3001	42,1423	1,2646	1,3632	1,5643	Amostras descartadas por apresentar contaminação microbiana					

Umidade Relativa (%)	M _{inicial} (g)			M _{final} (g)			Massa seca = M _{inicial} x (0,891)*			Umidade de equilíbrio, (%)			Média da Umidade de equilíbrio, (%)
0													0
11,30	1,2120	1,4625	1,4277	1,1344	1,4410	1,3279	1,0799	1,3031	1,2721	4,81%	9,57%	4,20%	6,19
32,78	1,2679	1,5317	1,1697	1,2376	1,5184	1,4980	1,1297	1,3647	1,0422	8,72%	10,12%	descartado	9,42
43,16	1,3134	1,2682	1,3067	1,3437	1,3126	1,2534	1,1702	1,1300	1,1643	12,91%	13,91%	7,11%	11,31
57,57	1,2086	1,1870	1,3508	1,2338	1,2053	1,3931	1,0769	1,0576	1,2036	12,72%	12,25%	13,61%	12,86
68,86	1,2923	1,5763	1,2409	1,3641	1,6796	1,3191	1,1514	1,4045	1,1056	15,59%	16,38%	16,18%	16,05
75,10	1,2023	1,2981	1,5544	1,3294	1,4364	1,7220	1,0712	1,1566	1,3850	19,42%	19,48%	19,57%	19,49
80,30	1,3968	1,1183	1,2758	1,7053	1,3492	1,4725	1,2445	0,9964	1,1367	27,02%	26,15%	22,80%	25,32
84,20													
90,30													
97,50													

Observação: Na UR = 32,78% um pondo foi descartado por apresentar um desvio significativo

$$M_{trocada} = M_{placa+produto\ final} - M_{placa} - M_{produto\ inicial}$$

$$\text{Teor de Umidade} = \frac{M_{trocada}}{M_{produto\ inicial}} * 100$$

* fator obtido a partir da determinação da umidade inicial das amostras desidratadas obtidas do mercado

Umidade média = 10,86%

Portanto: 100% - 10,86% = 89,14% ou 0,891

Dessa forma: massa seca = M_{inicial} x 0,891

Apêndice 3

Determinação da Umidade inicial do Shitake *in natura*

Apêndice 4

Medidas obtidas no processo de secagem do cogumelo shiitake

Medida	Tempo (min)	Tempo (h)	Massa Total (g)	Massa produto (g)	Massa de água (g)	Massa de Extrato Seco (g)	Umidade (g.H ₂ O/g.produto)	Tproduto (°C)
1	0	0,0	962,8	343,8	317,8	25,99	0,924	30,1
2	5	0,1	950,3	331,3	305,3	25,99	0,922	30,1
3	10	0,2	929,0	310,0	284,0	25,99	0,916	29,7
4	15	0,3	904,7	285,7	259,7	25,99	0,909	29,3
5	20	0,3	877,5	258,5	232,5	25,99	0,899	28,2
6	25	0,4	871,8	252,8	226,8	25,99	0,897	27,9
7	30	0,5	851,6	232,6	206,6	25,99	0,888	27,6
11	50	0,8	794,6	175,6	149,6	25,99	0,852	28,5
12	55	0,9	781,3	162,3	136,3	25,99	0,840	29,6
13	60	1,0	770,2	151,2	125,2	25,99	0,828	30,7
14	65	1,1	752,6	133,6	107,6	25,99	0,805	31,9
15	70	1,2	749,2	130,2	104,2	25,99	0,800	32,1
16	75	1,3	738,8	119,8	93,8	25,99	0,783	32,9
17	80	1,3	728,5	109,5	83,5	25,99	0,763	35,2
18	85	1,4	719,6	100,6	74,6	25,99	0,742	36,1
19	90	1,5	710,1	91,1	65,1	25,99	0,715	37,0
20	95	1,6	703,5	84,5	58,5	25,99	0,692	38,0
21	100	1,7	695,4	76,4	50,4	25,99	0,660	38,9
22	105	1,8	684,0	65,0	39,0	25,99	0,600	40,7
23	110	1,8	673,8	54,8	28,8	25,99	0,526	43,1
24	115	1,9	666,0	47,0	21,0	25,99	0,447	46,3
25	120	2,0	656,2	37,2	11,2	25,99	0,301	50,1
28	140	2,3	656,2	37,2	11,2	25,99	0,301	50,1
30	150	2,5	651,3	32,3	6,3	25,99	0,195	48,0
34	190	3,2	649,3	30,3	4,3	25,99	0,142	44,6
35	200	3,3	648,3	29,3	3,3	25,99	0,113	44,5
36	210	3,5	647,7	28,7	2,7	25,99	0,094	44,4
42	330	5,5	647,2	28,2	2,3	25,99	0,082	45,4

Segue, de forma detalhada, a origem de cada informação contida nessa tabela.

- a. Medida: número de medidas realizadas no decorrer do experimento.
- b. Tempo: períodos nos quais foram anotados os valores de peso do produto durante o processo de desidratação.
- c. Massa total: refere-se à soma da massa do shiitake a ser desidratado com a massa das bandejas de acondicionamento do produto. Bandejas essas conectadas a uma balança semi-analítica para coleta dos valores de peso nos tempos determinados.
- d. Massa do produto: É o valor observado na balança menos o peso do sistema de bandejas (619,0 g)
- e. Massa de água: É o resultado da subtração da massa do produto pelo extrato seco.
- f. Massa de extrato seco: A massa do extrato seco refere-se a tudo aquilo que está presente no shiitake e não é água. A taxa de extrato seco determinada nesse trabalho foi de 7,56%.

Para a determinação da taxa de extrato seco presente no shiitake, pode-se utilizar os dados apresentados no Apêndice 3 (Determinação da umidade inicial do shiitake *in natura*). Como resultado final, a média da umidade medida nesse experimento foi de 92,44% com desvio padrão de 0,30%. Uma vez que a umidade está relacionada com a quantidade de água presente no produto, o restante pode ser caracterizado como extrato seco.

Portanto:

100% (peso do produto antes da secagem) - 92,44% (quantidade de água presente no produto, determinado nessa secagem) = 7,56% de extrato seco.

- g. Umidade (gH₂O/g de produto): Trata-se da quantidade de água em gramas presentes em cada grama de shiitake. Esse valor é fundamental para o desenho da curva de secagem do produto. Abaixo seguem os cálculos do valor apresentado na primeira linha da tabela apresentada.

343,8g de shiitake possuem 317,8g H₂O, logo, em 1,0g de produto tem-se:

$$\begin{array}{ll} 343,8\text{g. de shiitake} & 317,8 \text{ g. H}_2\text{O} \\ 1,0\text{g de shiitake} & X \text{ g H}_2\text{O} \end{array}$$

$$X = (330,4 \times 1,0) / 343,8$$

$$X = 0,924 \text{ g H}_2\text{O/g de shiitake}$$

Além disso, é possível ainda extrair os seguintes dados do experimento acima:

- h. Temperatura do produto (ºC)

Segue representada na tabela a variação da temperatura medida no interior do shiitake, durante o processo de secagem.

- i. Porcentagem de secagem: 91,79%

Trata-se da quantidade de água, expressa em porcentagem, extraída durante o processo de desidratação, conforme apresentado abaixo.

Onde:

343,8g de produto (massa inicial)	-	100%
(343,8. - 28,2g) de produto (massa final)	-	Y

$$Y = [(343,8g - 28,2g) \times 100] / 343,8g$$

$$Y = 91,79\%$$

Além disso, ainda é possível observar os seguintes dados do experimento acima:

- j. Umidade inicial = 92,44%
- k. Umidade final = 8,16%
- k. Extrato seco = 26,0g (7,56% do peso do produto)

Apêndice 5

Determinação da área da embalagem calculada empiricamente

Para determinar a área da embalagem, precisa-se identificar a densidade do shiitake desidratado. O produto foi então acondicionado em um recipiente com capacidade para armazenar 1 litro de água. Duas avaliações foram realizadas: a primeira para verificar a quantidade de produto que cabia no recipiente com a compactação do mesmo e a segunda, com o produto acondicionado sem compactação. Os resultados foram os seguintes:

- a. Densidade: produto não compactado = 59 g / l de água
- b. Densidade: produto compactado = 79 g / l de água

Para maior segurança do projeto de embalagem, os cálculos foram realizados, considerando a densidade do produto não compactado.

Como 59 g de produto cabem em um recipiente para 1 litro de água, para conter os 1.000 g de shiitake a serem embalados, será necessária uma embalagem capaz de conter 16,95 litros de água, pois:

59 g de shiitake - “embalagem” para armazenar 1,0 litro de água

1.000 g de shiitake - z

$$z = (1.000 \times 1,0) / 59$$

z = 16,95 litros

Sabe-se com um simples experimento que 0,69 m² de embalagem é capaz de conter 20 litros de água, portanto:

20 litros de água - 0,69 m² de embalagem

16,95 litros de água - w

$$w = (16,95 \times 0,69) / 20$$

w = 0,585 m² de embalagem, portanto:

A = 0,585 m²

Apêndice 6

Demonstrativo dos cálculos para obtenção da constante k (taxa de permeabilidade da embalagem) e da T.P.V.A. (taxa de permeabilidade do vapor d' água)

Para calcular a variável k, seguem todos os parâmetros já determinados para substituição na equação (1).

Variáveis determinadas:

- a. $= 0,1925$
- b. $Ue_{75\%} = 14,44\%$
- c. $Ue_{90\%} = 17,32\%$
- d. $Uo = 10,86\% \text{ (bu)}$
- e. $Um = 43,16\%$
- f. $A = 0,585 \text{ m}^2$
- g. $Psat. 25^\circ\text{C} = 23,756 \text{ mmHg}$
- h. $Psat. 38^\circ\text{C} = 46,692 \text{ mmHg}$
- i. $M = 1.000 \text{ g}$
- j. $t = 360 \text{ dias}$

1^a condição: UR = 75%; Temperatura = 25 °C,

$$\ln \left[\frac{Ue - Uo}{Ue - Um} \right] = \frac{k \times A \times Psat.}{l \times M \times \alpha} \times t$$

$$\ln \left[\frac{14,44 - 10,86}{14,44 - 43,16} \right] = \left[\frac{k}{l} \right] \times \frac{0,585 \times 23,756}{1.000 \times 0,1925} \times 360$$

$$\ln \left[\frac{3,58}{-28,72} \right] = \left[\frac{k}{l} \right] \times \frac{5003,0136}{192,5}$$

$$\ln(-0,1246) = \left[\frac{k}{l} \right] \times 25,9897$$

$$\frac{2,0822}{25,9897} = \frac{k}{l} = 0,0801$$

Admitindo-se $l = 100 \mu$, tem-se:

$$k = 8,01 \text{ g/m}^2 \times \text{dia} \times \text{mmHg}$$

Para transformar k para T.P.V.A., tem-se:

$$\text{T.P.V.A.} = \frac{k \times \text{Psat.} \times \text{UR}}{l}$$

$$\text{T.P.V.A.} = \frac{k \times \text{Psat.} \times \text{UR}}{l}$$

$$\text{T.P.V.A.} = \frac{8,01 \times 23,756 \times 0,75}{100}$$

$$\text{T.P.V.A.} = 1,43 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{m}^2 \times \text{dia}$$

2^a condição: UR = 90%; Temperatura = 38 °C,

$$\ln \left[\frac{U_e - U_o}{U_e - U_m} \right] = \frac{k \times A \times \text{Psat.}}{l \times M \times \alpha} \times t$$

$$\ln \left[\frac{17,32 - 10,86}{17,32 - 43,16} \right] = \left[\frac{k}{l} \right] \times \frac{0,585 \times 46,692}{1.000 \times 0,1925} \times 360$$

$$\ln \left[\frac{6,46}{-25,84} \right] = \left[\frac{k}{l} \right] \times \frac{9833,335}{192,5}$$

$$\ln(-0,25) = \left[\frac{k}{l} \right] \times 51,082$$

$$\frac{1,3863}{51,082} = \frac{k}{l} = 0,0271$$

Admitindo-se $l = 100\mu$, tem-se:

$$k = 2,71 \text{ g/m}^2 \times \text{dia} \times \text{mmHg}$$

Para transformar k para T.P.V.A., tem-se:

$$\text{T.P.V.A.} = \frac{k \times \text{Psat.} \times \text{UR}}{l}$$

$$\text{T.P.V.A.} = \frac{k \times \text{Psat.} \times \text{UR}}{l}$$

$$\text{T.P.V.A.} = \frac{2,71 \times 46,692 \times 0,90}{100}$$

$$\text{T.P.V.A.} = 1,14 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{m}^2 \times \text{dia}$$