

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos  
Departamento de Engenharia Química e Engenharia  
de Alimentos**

**SECAGEM E RESFRIAMENTO A VÁCUO  
DE COGUMELOS COMESTÍVEIS DA  
ESPÉCIE *Pleurotus ostreatus* DSM 1833**

Trabalho apresentado como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos na Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Giannini Pasiznick Apati

Florianópolis, 20 de outubro de 2004.

# APROVAÇÃO

**Nome:** Giannini Pasiznick Apati  
**Titulação:** Mestre em Engenharia de Alimentos  
**Título da Dissertação:** SECAGEM E RESFRIAMENTO A VÁCUO DE  
COGUMELOS COMESTÍVEIS DA ESPÉCIE *Pleurotus ostreatus*  
DSM 1833

## **Banca Examinadora:**

---

Dra. Alcilene. R.M. Fritz  
Departamento de Engenharia Química e de Alimentos - UFSC

---

Dr. José Carlos Cunha Petrus  
Departamento de Engenharia Química e de Alimentos- UFSC

---

Dr. João Borges Lurindo  
Orientador  
Departamento de Engenharia Química e de Alimentos- UFSC

---

Dr. Agenor Furigo Junior  
Examinador Externo  
Departamento de Engenharia Química e de Alimentos - UFSC

# Resumo

Cogumelos do gênero *Pleurotus* são muito saborosos e são considerados uma boa opção de dieta devido ao seu elevado valor nutricional, sendo ricos em proteínas, fibras, carboidratos, vitaminas e minerais. Sendo constituídos por cerca de 90% de umidade, os cogumelos frescos são extremamente perecíveis, pois a água que compõe sua estrutura gera um ambiente favorável aos processos biológicos, bioquímicos e biofísicos que degradam alimentos. Sendo assim, os processos de desidratação e de resfriamento a vácuo dos cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus* DSM 1833 foram avaliados neste trabalho. Os cogumelos foram desidratados em estufa com circulação de ar nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, com umidade relativa do ar de 75%. Os parâmetros de reidratação foram avaliados utilizando-se um planejamento experimental fracionado  $3^{3-1}$ , onde as variáveis estudadas foram a temperatura de secagem (40, 50 e 60°C), a temperatura da água de reidratação (25, 55 e 85°C) e o tempo de imersão na água (30, 75 e 120 minutos). As isotermas de sorção de umidade foram determinadas a 30, 40 e 50°C. Foi avaliada a influência da taxa de redução de pressão no resfriamento a vácuo e a minimização da perda de massa no processo através da aspersão de água antes do resfriamento a vácuo. A melhor temperatura de secagem obtida foi de 40°C, levando em consideração a melhor reidratação dos cogumelos desidratados nesta temperatura. A reidratação dos cogumelos desse gênero pode ser feita em água na temperatura ambiente por 30 minutos. Tanto o modelo de GAB quanto o modelo de BET representaram adequadamente os dados experimentais de sorção de umidade. A aspersão de água nos cogumelos antes do resfriamento diminuiu consideravelmente a perda de massa durante o processo. Assim, desenvolveu-se conhecimentos básicos para dois processos de conservação dos cogumelos do gênero *Pleurotus*.

Palavras-chave: *Pleurotus ostreatus*; desidratação; resfriamento a vácuo.

# Abstract

Mushrooms of *Pleurotus* genus very flavorful and are considered a good diet due to their increased nutritional value, being rich in protein, fibers, carbohydrates, vitamins and minerals. Being constituted of about 90% of humidity, the fresh mushrooms are extremely perishable, because the water that composes their structure generates an environment favorable to the biological, biochemical and biophysical processes that degrade foods. For this reason the dehydration and vacuum cooling processes of mushrooms of *Pleurotus ostreatus* DSM 1833 specie have been evaluated in this work. The mushrooms were dehydrated in an oven with air circulation with a temperature of 40, 50 and 60°C, with air relative humidity of 75%. The rehydration parameters have been evaluated using an experimental design  $3^{3-1}$ , where the studied variables were the drying temperature (40, 50 and 60°C), the water immersion temperature (25, 55 and 85°C) and the water immersion time (30, 75 and 120 minutes). The moisture sorption isotherms were determined at 30, 40 and 50°C. The pressure reduction rate influence in the vacuum cooling and the weigh loss minimization in the process by spraying the mushrooms with water before the vacuum cooling were valuated. The best drying temperature as obtained at 40°C, taking into consideration a better rehydration of mushrooms dried in this temperature. The rehydration of mushrooms of this specie can be done at room temperature water during 30 minutes. Both GAB and Bet models represented satisfactorily the experimental data of moisture sorption. Spraying water before the vacuum cooling could reduce the weight loss during the process. In such case, basic knowledge was developed for these two conservation processes of *Pleurotus* mushroom.

Keywords: *Pleurotus ostreatus*; dehydration; vacuum cooling.

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por minha existência.

Ao Prof. Dr. João Borges Laurindo pela orientação prestada nesse trabalho. E também a Profa. Dra. Sandra Furlan pela co-orientação do mesmo.

Aos professores Agenor, Alcilene e Petrus por terem aceito o convite para participar da banca examinadora deste trabalho.

À turma do PROFI por ter me acolhido na realização de parte dos experimentos, em especial ao Fabinho que eu tanto incomodei com minhas dúvidas e ao Eduardo pela montagem do equipamento para realização do resfriamento a vácuo.

A meus pais Sandra e Antonio Carlos e minha avó Terezinha pela preocupação a cada ida e vinda à Florianópolis. Agradeço também ao meu irmão Carlos que, muitas vezes me fez companhia nas viagens.

A UNIVILLE por ter permitido que eu realizasse o cultivo dos cogumelos e os experimentos de secagem e reidratação.

À minhas colegas de trabalho Beatriz, Leslie, Millena e Andrea pela ajuda e incentivo naquelas horas em que dava vontade de jogar tudo para o alto e correr sabe-se lá para onde.

À Caroline Silveira Campos por ter tirado as fotografias dos cogumelos feitas no estúdio fotográfico da UNIVILLE.

Agradeço imensamente a Regina Gern, Márcia Lange da Silveira, Elisabeth Wisbeck e Andréa Schneider, pelas orientações emergenciais e pela amizade.

Ao meu amado Carlos André que soube compreender minha ausência, minhas preocupações, dando-me apoio, carinho e incentivo.

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que não foram aqui citadas mas contribuíram direta ou indiretamente na execução desse trabalho.

No final tudo da certo, se ainda não deu  
certo é porque ainda não acabou...

(Fernando Sabino)

# Sumário

<b>Aprovação</b>	<b>i</b>
<b>Resumo</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Sumário</b>	<b>vi</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xii</b>
<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1</b>	
<b>Objetivos</b>	<b>3</b>
1.1 Objetivo geral.....	3
1.2 Objetivos específicos .....	3
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Revisão bibliográfica</b>	<b>4</b>
2.1 Cogumelos comestíveis .....	4
2.2 Fungos do gênero <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	5
2.3 Cultivo dos cogumelos .....	6
2.3.1 Colheita e pós-colheita .....	8
2.4 Secagem de cogumelos e alguns vegetais .....	8
2.4.1 Fundamentos da secagem .....	11
2.4.1.1 Classes de materiais em função do comportamento na secagem .....	14
2.4.2 Atividade de água.....	16
2.4.3 Isoterma de sorção de umidade .....	16
2.4.4 Reidratação.....	18
2.5 Resfriamento a vácuo .....	19
2.5.1 Princípio do resfriamento a vácuo .....	20
2.5.2 Aplicações do resfriamento a vácuo.....	21

<b>Capítulo 3</b>	
<b>Material e métodos</b>	<b>26</b>
3.1 Cultivo de <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	26
3.1.1 Microrganismo e manutenção.....	27
3.1.2 Produção de inóculo ou “spawn” .....	27
3.1.3 Substrato para frutificação .....	28
3.1.4 Condições de cultivo .....	28
3.1.5 Colheita.....	29
3.2 Secagem.....	30
3.2.1 Isotermas de sorção de umidade.....	31
3.2.2 Reidratação.....	32
3.3 Resfriamento a vácuo .....	33
3.3.1 Taxa de redução de pressão no resfriamento a vácuo .....	35
3.3.2 Aspersão de água.....	36
3.3.3 Simulação da perda de massa durante o resfriamento a vácuo.....	36
<b>Capítulo 4</b>	
<b>Resultados e discussão</b>	<b>38</b>
4.1 Secagem.....	38
4.2 Reidratação .....	42
4.3 Isotermas de sorção de umidade .....	45
4.4 Resfriamento a vácuo .....	48
4.4.1 Influência da taxa de redução de pressão (Y) .....	48
4.4.2 Influência da aspersão de água .....	50
4.4.3 Determinação do calor específico ( $c_p$ ) dos cogumelos .....	52
4.4.4 Simulação da evolução temporal da massa dos cogumelos .....	52

<b>Conclusões</b>	<b>54</b>
<b>Perspectivas para trabalhos futuros</b>	<b>56</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>57</b>
<b>Apêndice A</b> <b>Curvas de secagem</b>	<b>64</b>
<b>Apêndice B</b> <b>Taxas de secagem</b>	<b>66</b>
<b>Apêndice C</b> <b>Curvas de resfriamento a vácuo</b>	<b>68</b>

# Lista de Figuras

Figura 2.1	Curva de secagem típica em condições constantes de secagem; teor de umidade em função do tempo (FOUST, 1982). .....	13
Figura 2.2	Curva da taxa de secagem típica em condições constantes de secagem; taxa (velocidade) de secagem em função do teor de umidade (FOUST, 1982).....	13
Figura 2.3	Curvas típicas de resfriamento de cortes de carne cozidos (4 a 5 kg) resfriados por diferentes métodos (MC DONALD & SUN, 2000).....	20
Figura 3.1	Fluxograma do cultivo de <i>Pleurotus ostreatus</i> DSM 1833.....	26
Figura 3.2	Câmara de frutificação de <i>P. ostreatus</i> contendo pacotes com o substrato colonizado para frutificação .....	29
Figura 3.3	Fotografia ilustrando o ponto de colheita do <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	30
Figura 3.4	Esquema do dispositivo experimental usado na secagem dos cogumelos ...	31
Figura 3.5	Representação esquemática de um sistema de resfriamento a vácuo experimental (1 – câmara de vácuo com amostra e termopares; 2 – condensador; 3 – “trapping”; 4 – bomba de vácuo; 5 – sistema de aquisição de dados).....	34
Figura 3.6	Algoritmo utilizado para o cálculo das evoluções temporais da massa dos cogumelos resfriados a vácuo. Onde, $t$ = tempo (s); $T$ = temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ); $m$ = massa da amostra (kg); $m_w$ = massa de água (kg); $x_w$ = fração de umidade; $c$ = calor específico ( $\text{kJ/Kg}^{\circ}\text{C}$ ); $A\hat{H}_{\text{vap}}$ = entalpia de vaporização ( $\text{kJ/kg}$ ) e $\Delta m$ = massa de água evaporada (kg). .....	37
Figura 4.1	Curvas de secagem dos cogumelos da espécie <i>Pleurotus ostreatus</i> DSM 1833, nas temperaturas de 40, 50 e 60 $^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de 75%. .....	38
Figura 4.2	Taxa de secagem de <i>Pleurotus ostreatus</i> ( $-\text{dX}/\text{dt}$ ) em função do tempo de secagem ( $t$ ) .....	39
Figura 4.3	Foto de cogumelos da espécie <i>P. ostreatus</i> desidratados a 40 $^{\circ}\text{C}$ e UR 75%. 41	
Figura 4.4	Foto de cogumelos da espécie <i>P. ostreatus</i> desidratados a 50 $^{\circ}\text{C}$ e UR 75%. 41	
Figura 4.5	Foto de cogumelos da espécie <i>P. ostreatus</i> desidratados a 60 $^{\circ}\text{C}$ e UR 75%. 41	

Figura 4.6	Cogumelos <i>P. ostreatus</i> “in natura”, desidratados e reidratados.....	42
Figura 4.7	Gráfico de Pareto, para os parâmetros relacionados à capacidade de reidratação dos cogumelos da espécie <i>P. ostreatus</i> DSM 1833.....	43
Figura 4.8	Superfície de resposta da capacidade de reidratação em função da temperatura da água de reidratação (°C) e da temperatura de secagem dos cogumelos (°C) .....	44
Figura 4.9	Superfície de resposta da capacidade de reidratação em função do tempo de reidratação (min) e da temperatura de secagem dos cogumelos (°C).....	44
Figura 4.10	Isotermas de sorção de umidade a 30°C para cogumelos da espécie <i>P. ostreatus</i> DSM 1833. ....	45
Figura 4.11	Isotermas de sorção de umidade a 40°C para cogumelos da espécie <i>P. ostreatus</i> DSM 1833. ....	46
Figura 4.12	Isotermas de sorção de umidade a 50°C para cogumelos da espécie <i>P. ostreatus</i> DSM 1833. ....	46
Figura 4.13	Curvas de vácuo obtidas pelas diferentes taxas de evacuação da câmara de resfriamento.....	48
Figura A.1	Curvas de secagem de <i>Pleurotus ostreatus</i> experimentais a 60°C .....	64
Figura A.2	Curvas de secagem de <i>Pleurotus ostreatus</i> experimentais a 50°C .....	65
Figura A.3	Curvas de secagem de <i>Pleurotus ostreatus</i> experimentais a 40°C .....	65
Figura B.1	Taxas de secagem de <i>Pleurotus ostreatus</i> a 60°C.....	66
Figura B.2	Taxas de secagem de <i>Pleurotus ostreatus</i> a 50°C.....	67
Figura B.3	Taxas de secagem de <i>Pleurotus ostreatus</i> a 40°C.....	67
Figura C.1	Curvas de resfriamento a vácuo de <i>Pleurotus ostreatus</i> - experimento A com 5 repetições. $P_f = 7$ mmHg. ....	69
Figura C.2	Curvas de resfriamento a vácuo de <i>Pleurotus ostreatus</i> - experimento B com 4 repetições. $P_f = 10$ mmHg. ....	70
Figura C.3	Curvas de resfriamento a vácuo de <i>Pleurotus ostreatus</i> - experimento C com 4 repetições. $P_f = 10$ mmHg. ....	71
Figura C.4	Curvas de resfriamento a vácuo de <i>Pleurotus ostreatus</i> - experimento D com 5 repetições. $P_f = 5$ mmHg. ....	72
Figura C.5	Curvas de resfriamento a vácuo de <i>Pleurotus ostreatus</i> - experimento E com 5 repetições. $P_f = 5$ mmHg. ....	73
Figura C.6	Curvas de resfriamento a vácuo de <i>Pleurotus ostreatus</i> - experimento Aa (com aspersão de água) com 4 repetições. $P_f = 7$ mmHg.....	74

Figura C.7	Curvas de resfriamento a vácuo de <i>Pleurotus ostreatus</i> - experimento Ca (com aspersão de água) com 5 repetições. $P_f = 5$ mmHg.....	75
Figura C.8	Curvas de resfriamento a vácuo de <i>Pleurotus ostreatus</i> - experimento Da (com aspersão de água) com 5 repetições. $P_f = 5$ mmHg.....	76
Figura C.9	Curvas de resfriamento a vácuo de <i>Pleurotus ostreatus</i> - experimento Ea (com aspersão de água) com 5 repetições. $P_f = 5$ mmHg.....	77

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1	Atividades de água a 20°C e sais utilizados no experimento de determinação das isotermas de sorção de umidade dos cogumelos .....	32
Tabela 3.2	Parâmetros e níveis do planejamento experimental de reidratação 3 <sup>3-1</sup> . ....	33
Tabela 3.3	Taxas de redução de pressão utilizadas nos experimentos .....	36
Tabela 4.1	ANOVA para os parâmetro temperatura de secagem, temperatura da água de reidratação e tempo de reidratação com relação a capacidade de reidratação dos cogumelos da espécie <i>P. ostreatus</i> . .....	43
Tabela 4.2	Constantes de GAB e BET para os modelos ajustados às curvas de sorção de umidade dos cogumelos .....	47
Tabela 4.3	Perdas de massa e redução média de temperatura por percentual de perda de massa ( $\eta_T$ ) obtidas nos experimentos, para os diferentes valores de Y (s <sup>-1</sup> ). .....	48
Tabela 4.4	Perdas de massa e redução média de temperatura por percentual de perda de massa ( $\eta_T$ ) obtidas nos experimentos com aspersão de água, para os diferentes valores de Y (s <sup>-1</sup> ).....	50
Tabela 4.5	Massa real e simulada de cogumelos da espécie <i>P. ostreatus</i> resfriados a vácuo. ....	52

# Introdução

Os cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus* são extremamente saborosos e são considerados uma boa opção de dieta por causa de seu elevado valor nutricional, sendo ricos em proteínas, fibras, carboidratos, vitaminas e minerais (COHEN et al, 2002, BONATTI, 2001, SILVEIRA, 2003). Sendo constituídos por cerca de 90% de umidade, os cogumelos frescos são extremamente perecíveis, pois a água que compõe a sua estrutura gera um ambiente favorável aos processos biológicos, bioquímicos e biofísicos que degradam alimentos.

Sendo assim, formas de aumentar a vida útil de cogumelos do gênero *Pleurotus* e melhorar a conservação para comercialização são essenciais para estimular o cultivo comercial, bem como o hábito de consumi-lo (STAMETS & CHILTON, 1996).

No caso da comercialização “in natura”, o resfriamento dos cogumelos se apresenta como uma alternativa para aumentar a vida de prateleira dos mesmos (VILLAESCUSA & GIL, 2003).

O resfriamento a vácuo é uma técnica que pode ser utilizada para resfriar cogumelos (BURTON et al., 1987; MC DONALD & SUN, 2000). Devido ao fato da diminuição da temperatura se dar pela evaporação da água a uma pressão reduzida, o resfriamento a vácuo causa uma perda de massa no produto resfriado e como essa perda é uma desvantagem do processo, estudos vêm sendo realizados para minimizá-la (BROSNAN & SUN, 2001; HUBER, 2003).

Quando o objetivo for estender ainda mais a vida útil dos cogumelos, a desidratação é o método de conservação mais indicado, podendo-se diminuir a atividade

de água a níveis onde a proliferação de microrganismos decompositores é muito reduzida. Os cogumelos desidratados podem ser posteriormente reidratados por imersão em água antes do consumo.

Tendo em vista o exposto acima, o presente trabalho teve por objetivo o estudo da aplicação de dois processos de conservação aos cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus*. Em uma primeira linha, avaliou-se a desidratação dos cogumelos em estufa com circulação forçada de ar, bem como a sua posterior reidratação e a construção das isotermas de sorção de umidade para os cogumelos “in natura” e desidratados. Em uma segunda linha, estudou-se a aplicação do resfriamento a vácuo como um método rápido e barato de resfriamento, assim como alternativas operacionais que minimizassem a degradação da qualidade dos cogumelos resfriados.

# Capítulo 1

## Objetivos

### 1.1 Objetivo geral

Estudar a conservação de cogumelos comestíveis da espécie *Pleurotus ostreatus*, através das técnicas de secagem e resfriamento a vácuo.

### 1.2 Objetivos específicos

- Construir as isotermas de sorção para os cogumelos;
- Determinar as curvas de secagem para os corpos frutíferos de *Pleurotus ostreatus*;
- Avaliar a capacidade de reidratação dos cogumelos desidratados
- Estudar o resfriamento a vácuo dos cogumelos e a qualidade após resfriamento.

## Capítulo 2

# Revisão bibliográfica

### 2.1 Cogumelos comestíveis

Segundo MOLENA (1986) o aumento da população do globo terrestre obedece a uma progressão geométrica, tornando sério o problema da alimentação. Em quase todos os países há pesquisas que buscam encontrar novas fontes de carboidratos e proteínas e acredita-se que as bactérias, as leveduras e os fungos serão uma forma de resolver o problema.

Os cogumelos são fontes de aminoácidos, contendo todos os essenciais e não essenciais; contém minerais, como cálcio, potássio, iodo e fósforo e vitaminas, entre elas tiamina, riboflavina, niacina e ácido ascórbico, além de outras do complexo B (BONONI et al., 1995; MOLENA, 1986).

O valor nutricional do cogumelo é altíssimo. Suas proteínas são 80% assimiláveis e digeríveis (nas proteínas vegetais, somente algumas chegam a ser 50 ou 60% digeríveis). Além disso, o cogumelo é muito saboroso e pode ser consumido cru ou cozido, podendo acompanhar qualquer tipo de carne ou simplesmente ser um ingrediente principal de uma receita (MOLENA, 1986).

O cultivo de cogumelos comestíveis é um dos processos economicamente viáveis de bioconversão de resíduos lignocelulósicos (THOMAS et al., 1998; CHANG & MILES, 1993). Os cogumelos excretam enzimas que degradam celulose, hemicelulose, lignina,

fenóis, proteínas e carboidratos, o que faz com que esses fungos cresçam num amplo espectro de resíduos de plantas (RAJARATHNAM et al., 1998).

## 2.2 Fungos do gênero *Pleurotus ostreatus*

*Pleurotus ostreatus* é conhecido pelos orientais como *Hiratake* e, no caso de cogumelos colhidos menores e cultivados sob condições de menor ventilação, tem sido denominado *Shimeji* (BONONI et al., 1995). É ainda chamado de cogumelo ostra, devido a sua forma e tradicionalmente conhecido como um dos cogumelos comestíveis mais nutritivos e saborosos (RAJARATHNAM et al., 1992; COHEN et al., 2002).

O *Pleurotus* é um cogumelo decompositor de matéria vegetal que pode ser encontrado praticamente no mundo todo, sendo freqüente também nas matas brasileiras. Até a década de 70 sua obtenção era baseada na coleta direta da natureza. A partir de então se iniciou o cultivo em escala industrial. No final da década de 50, iniciaram-se os primeiros experimentos à base de serragem como substrato para cultivo e, no início da década de 60 se começou a usar diversos tipos de palhas secas, como capim, palha de arroz e palha de trigo para a produção em massa (BONONI et al. 1995).

É um dos fungos comestíveis mais cultivados no mundo (CHANG, 1996, 1999; MILES & CHANG, 1987). Por ser um cogumelo de sabor acentuado e por haver disponibilidade deste no mercado, o consumo aumentou significativamente nestes últimos anos e, em 1995, ocupava o quarto lugar da produção mundial de cogumelos comestíveis (BONONI et al., 1995).

*P. ostreatus* é considerado uma boa opção de dieta por causa de seu elevado valor nutricional – é rico em proteína, fibra, carboidrato, vitaminas e minerais – e tem baixo valor calórico, gorduras e sódio (COHEN et al., 2002, BONATTI, 2001, SILVEIRA, 2003), contendo lisina, arginina e treonina em altas concentrações (JWANNY et al., 1995).

Segundo JWANNY et al. (1995), cogumelos do gênero *Pleurotus* têm 2,85% de gordura. Desde que gorduras e carboidratos raramente faltam na alimentação, os seus componentes protéicos podem contribuir de modo diferenciado na alimentação humana.

Segundo dados da “Food Policy and Nutrition Division” citados em BISARIA & MADAN (1983), os cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus* têm 90,8% de água e sua composição centesimal em base seca é: 30,4% de proteína; 2,2% de gordura; 48,9% de carboidratos; 8,7% de fibra e 9,8% de cinzas e seu valor energético é de 345 kcal.

Segundo MOLENA (1986) os cogumelos do gênero *Pleurotus* recebem a seguinte classificação:

Família: *Agaricaceae*

Ordem: Basideomicetos

Nome científico: *Pleurotus ostreatus*

BONONI et al. (1995) classificam os fungos do gênero *Pleurotus* como sapróbios, por colonizarem matéria orgânica em decomposição.

## 2.3 Cultivo dos cogumelos

Os fungos do gênero *Pleurotus* apresentam algumas vantagens de cultivo em relação ao gênero *Agaricus* e outros cogumelos comestíveis: adapta-se a ampla diversidade de substratos, que não necessitam de processo de pré-fermentação (compostagem). Além disso, apresentam crescimento mais rápido, são mais agressivos na competição com outros organismos, têm capacidade de crescimento numa grande amplitude térmica, podendo ser cultivados em todo o território nacional, por tolerarem temperaturas elevadas. Estes fungos também requerem uma tecnologia de produção menos complexa e apresentam um ciclo produtivo reduzido, características desejáveis e determinantes na viabilidade técnica e econômica de um cultivo industrial (ZADRAZIL, 1984; CHANG & HAYES, 1978 e CHANG & QUIMIO 1984).

Conforme BONONI et al. (1995), por ser um fungo essencialmente lignícola, ou seja, que degrada a madeira para obter seu alimento, o *Pleurotus* possui capacidade de se desenvolver em qualquer resíduo que contenha celulose, hemicelulose e lignina. Assim, dependendo da região aonde vai se instalar o cultivo, pode-se utilizar a matéria-prima disponível nas proximidades.

Um fator limitante para a maioria dos tipos de produção de alimentos é a disponibilidade de área, sendo esta uma grande vantagem do cultivo de cogumelos, que requer pouco espaço (CHANG & MILES, 1993). O cultivo de cogumelos produz mais proteína por unidade de terra que qualquer outra forma de agricultura (BISARIA & MADAN, 1983).

A forma mais tradicional e mais comum de se cultivar *Pleurotus* é em sacos de polipropileno, de preferência transparentes, pois facilitam a visualização de áreas de crescimento do micélio, além de possibilitar a visualização de contaminações (BONONI et al, 1995).

Durante a fase de incubação, o micélio se desenvolve e coloniza todo o composto, formando uma massa branca e compacta. É um processo complexo caracterizado por intensa atividade biológica, onde o micélio degrada o composto e retira os nutrientes, predispondo o fungo à frutificação. Nesta fase não há necessidade de iluminação, sendo importante manter a temperatura entre 25 e 28°C. O final do período de incubação é caracterizado pela colonização total do substrato pelo micélio. Em média, esse período é de 15 a 20 dias, no término dos quais os sacos devem ser abertos. Essa abertura pode ser de várias formas, uma boa opção de abertura é rasgá-los verticalmente, com o auxílio de estiletes. Com a abertura dos sacos deve-se modificar fisicamente o ambiente. Recomenda-se que a umidade relativa do ar seja mantida em torno de 95%, que a luminosidade seja de 2000 lux durante 12 horas ao dia e que a troca gasosa seja de 4

vezes o volume da câmara por hora, para evitar o acúmulo de mais de 600 ppm de CO<sub>2</sub> (BONONI et al., 1995).

### **2.3.1 Colheita e pós-colheita**

A colheita deve ser feita quando as margens do píleo estiverem planas, pois em breve iniciarão a liberação de esporos (BONONI et al., 1995).

Os cogumelos do gênero *Pleurotus* são mais delicados e sensíveis do que os do gênero *Agaricus* e deterioram-se mais rapidamente após a colheita. Uma vez deteriorados, podem causar severas intoxicações gastro-intestinais. Formas de aumentar a vida útil dos cogumelos do gênero *Pleurotus* e melhorar a conservação para comercialização são essenciais para estimular o cultivo comercial, bem como o hábito de consumi-lo (STAMETS & CHILTON, 1996).

Sob condições climáticas ideais o cogumelo depois de colhido tem um máximo de 10 dias de vida útil. A qualidade é predominantemente afetada pela temperatura de armazenamento. Um exemplo de redução da vida útil é de cerca de 9 dias a 2°C para 3 dias a 18°C (LUKASSE & POLDERDIJK, 2003).

Resfriamento pode ser usado na estocagem de cogumelos frescos e também durante a distribuição e venda, incrementando a qualidade e aumentando a vida de prateleira (VILLAESCUSA e GIL, 2003).

O método de conservação tradicionalmente utilizado para os cogumelos do gênero *Pleurotus* é a desidratação a 45-65°C, com circulação de ar. Os cogumelos desidratados podem ser reidratados por imersão em água por 1 a 2 horas. No entanto, cogumelos reidratados têm sua textura original modificada (STAMETS & CHILTON, 1996).

## **2.4 Secagem de cogumelos e alguns vegetais**

Os cogumelos são altamente perecíveis devido ao seu elevado conteúdo de água (de 6,75 a 18,9 kg de água/kg de sólido seco), que representa aproximadamente 87 a 95%

de sua massa úmida. Se os cogumelos frescos não são imediatamente consumidos, eles devem passar por algum tipo de tratamento para evitar sua deterioração. A secagem é o processo mais comumente usado para preservação de cogumelos (ARORA et al., 2003; PAL & CHAKRAVERTY, 1997).

A secagem é um dos mais antigos métodos de conservação de alimentos e é uma operação que pode provocar mudanças indesejáveis ao produto desidratado, como o encolhimento e o escurecimento enzimático e não enzimático (MASKAN, 2000).

A desidratação é um método clássico de conservação de alimentos, tendo por princípio a redução da atividade de água do produto até níveis que garantam a estabilidade físico-química e microbiológica (KROKIDA et al., 2003; CAO, et al., 2003; LEWICKI & JAKUBCZYK, 2004). Uma grande vantagem dos produtos desidratados é que eles ocupam muito menos espaço do que os produtos enlatados ou resfriados, além de poderem ser estocados a temperatura ambiente (CAO et al., 2003).

A secagem convectiva muda a estrutura e a conformação espacial dos biopolímeros do material, como resultado da remoção de água. Há uma destruição natural da estrutura e diminuição da permeabilidade nas membranas. Com isso, mudam também as propriedades reológicas (KAREL, 1980 apud LEWICKI & JAKUBCZYK, 2004).

Trabalhos publicados sobre o uso de microondas para secagem de kiwi mostraram um aumento da ordem de 13 a 14 vezes na velocidade de secagem, comparado a secagem convectiva. Porém, quando analisada a qualidade do produto desidratado, foi observado um maior encolhimento das frutas (85%) quando a secagem por microondas foi utilizada. Quando utilizada a secagem convectiva, o encolhimento foi na ordem de 81% e o melhor resultado observado pelo autor foi de 76% para secagem convectiva seguida de microondas na fase final de secagem (MASKAN, 2001). Além da perda de qualidade do

produto quando usada a secagem por microondas, os custos de aplicação desse processo em escala industrial ainda são elevados (ARORA, et al. 2003).

Quanto à velocidade de secagem, PAL & CHAKRAVERTY (1997), estudando a secagem de *Pleurotus ostreatus* com e sem pré-tratamento (branqueamento a vapor por 3 min, seguido por tratamento com solução de metabissulfito de sódio e ácido cítrico a 5%, por 5 min) nas temperaturas de 45, 50 e 60°C, e velocidades do ar de 0,9 e 1,6m/s, observaram que o aumento da temperatura de 45 para 60°C faz com que haja uma redução de 40% no tempo de secagem. Em todas as temperaturas testadas, foi observado que os cogumelos não tratados secavam a taxa de secagem maior do que os cogumelos tratados. A capacidade de reidratação também foi negativamente afetada pelo pré-tratamento.

GEORGE & DATTA (2002) evidenciaram em seus estudos a possibilidade de usar a liofilização para desidratar *Pleurotus florida*. Utilizando este método obtiveram cogumelos secos em 5 horas. Mas, a liofilização não é um processo viável economicamente para o processamento industrial de cogumelos (RATTI, 2001).

Observando a velocidade de secagem e o encolhimento de maçãs, LEWICKI & JAKUBCZYK (2004) observaram que o encolhimento das frutas foi inversamente proporcional à temperatura de secagem.

KROKIDA et al. (2003) estudando a cinética de secagem de alguns vegetais de interesse no preparo de misturas para sopas (batata, cenoura, pimentão, alho, cogumelo, cebola, alho poro, ervilha, milho, aipo, abóbora e tomate), concluíram que a temperatura de secagem é o fator mais importante na velocidade de secagem para todos os materiais examinados, enquanto que a velocidade do ar e a umidade relativa do ar são menos significativos.

FUNEBO & OHLSSON (1998) estudaram o processo de secagem para maçã e cogumelos, utilizando um planejamento fatorial 2<sup>3</sup>, onde as variáveis estudadas foram a

temperatura do ar de secagem (40, 60 e 80°C), a velocidade do ar (0,5, 1,0 e 1,5m/s) e a temperatura do centro do alimento desidratado (40, 60 e 80°C), que representa indiretamente a potência das microondas aplicada, num processo combinado. Os melhores resultados obtidos para a secagem de maçã foram 60°C, 60°C e 1,0m/s, respectivamente para a temperatura do ar, temperatura do centro do alimento e velocidade do ar de secagem. Para os cogumelos, os melhores resultados foram 80°C, 80°C e 1,5m/s, respectivamente, para os mesmos parâmetros acima, sendo que, nessas condições, o tempo de secagem dos cogumelos é 25% menor que as demais condições estudadas.

MARTÍNEZ-SOTO et al. (2001) aplicaram branqueamento com metabissulfito de sódio ou ácido cítrico antes da secagem de cogumelos *P. ostreatus* pelos seguintes métodos: secagem convectiva a 65°C e velocidade do ar de 1,5m/s, secagem em estufa a vácuo a 55°C ou liofilização. Os cogumelos que sofreram branqueamento ficaram mais escuros depois da secagem do que aqueles que não foram submetidos ao branqueamento. Os cogumelos liofilizados apresentaram maior capacidade de reidratação e cor mais próxima à dos cogumelos “*in natura*” do que os cogumelos secos por ar quente ou a vácuo. Porém, o aroma e o sabor dos cogumelos secos por ar quente foram estatisticamente semelhantes aos apresentados pelos cogumelos liofilizados.

#### **2.4.1 Fundamentos da secagem**

Na secagem de um sólido com altos teores de umidade, imediatamente após o contato entre a amostra e o meio secante, a temperatura do sólido ajusta-se até atingir um regime estacionário (FOUST et al., 1982). Se o sólido é poroso, boa parte da água é evaporada a uma taxa constante de secagem. Esse período continua enquanto a água do interior do sólido pode movimentar-se rapidamente até a superfície do mesmo, de modo a repor a água evaporada. Durante esse período, a temperatura do sólido iguala-se a temperatura de bulbo úmido (GEANKOPLIS, 1993). Uma vez que as temperaturas do

sólido tenham atingido a temperatura de bulbo úmido do gás, elas permanecem bastante estáveis e a taxa de secagem também permanece constante. O período termina quando o sólido atinge um teor de umidade crítico, o qual depende fortemente das condições de secagem. Além deste ponto, a temperatura da superfície eleva-se e a taxa de secagem cai rapidamente. O período de taxa decrescente pode ser bem mais dilatado que o período de taxa constante, embora a remoção de umidade seja muito menor (FOUST et al., 1982). A velocidade de secagem cessa quando a umidade do sólido possui uma pressão de vapor igual à pressão de vapor d'água do ar. O teor de umidade de equilíbrio resultante (que é o menor teor de umidade atingível no processo de secagem) para um dado sólido é uma função da temperatura e da umidade relativa do ar (BENNETT, 1978) A Figura 2.1 mostra uma curva típica de secagem obtida experimentalmente. A Figura 2.2 é obtida a partir de derivação da curva de secagem (FOUST et al., 1982).

Estas curvas típicas de secagem estão relacionadas aos mecanismos que controlam a secagem e a estrutura e composição do sólido. O período de secagem representado pelo segmento AB das curvas das Figuras 2.1 e 2.2 é o período em regime não permanente, durante o qual a temperatura do sólido atinge o seu valor de regime permanente. Embora a forma que está na Figura 2.2 seja típica, é possível obter qualquer outra forma, e AB pode ocorrer com uma velocidade crescente, conforme mostrado, ou com velocidade decrescente. Durante o período a taxa constante (segmento BC das curvas de secagem das Figuras 2.1 e 2.2), toda a superfície exposta do sólido está saturada de água. A secagem ocorre como se fosse a evaporação de uma massa de líquido, sem haver influência direta do sólido na taxa de secagem.

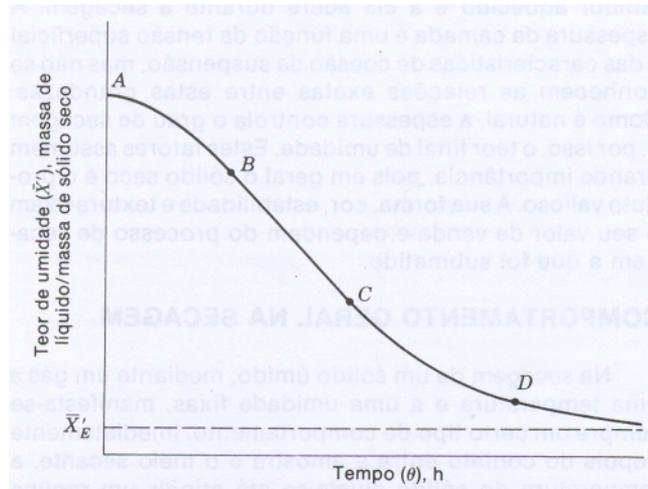


Figura 2.1 Curva de secagem típica em condições constantes de secagem; teor de umidade em função do tempo (FOUST, 1982).

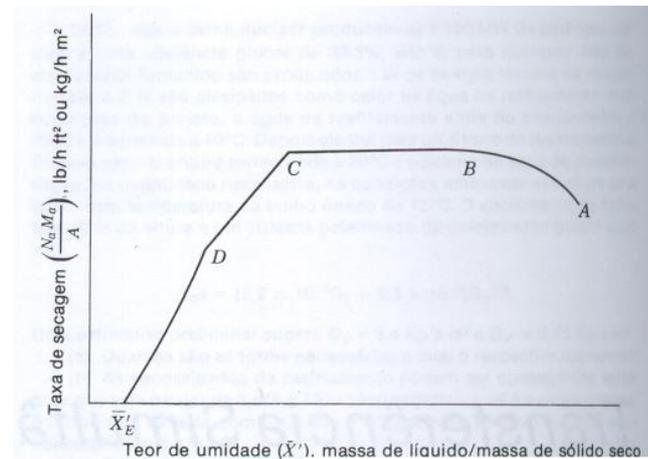


Figura 2.2 Curva da taxa de secagem típica em condições constantes de secagem; taxa (velocidade) de secagem em função do teor de umidade (FOUST, 1982).

O mecanismo do deslocamento do líquido, e por isso a velocidade deste movimento varia acentuadamente com a própria estrutura do sólido. Nos sólidos que têm espaços vazios (poros) relativamente grandes, o movimento será, possivelmente, controlado pela tensão superficial e pelas forças de gravidade no interior do sólido. Nos sólidos com estruturas fibrosas ou amorfas, o movimento do líquido ocorre por difusão através do sólido. Desde que as taxas de difusão sejam menores que o escoamento por gravidade ou por capilaridade, os sólidos nos quais a difusão controla o movimento do líquido tendem a ter períodos a taxa constante mais curtos, ou mesmo secarem sem que haja um período

de taxa constante perceptível. No ponto C, indicados nas Figuras 2.1 e 2.2, o teor de umidade do sólido é o mínimo para suprir a evaporação superficial (FOUST et al., 1982).

O “primeiro período de taxa decrescente”, ocorre entre os pontos C e D da Figura 2.2. A área da superfície não está mais completamente úmida e a umidade continua diminuindo até que a superfície fique sem água livre, no ponto D (GEANKOPLIS, 1993).

Nos teores de umidade mais baixos que os do ponto D da Figura 2.2, toda a evaporação ocorre a partir do interior do sólido. À medida que o teor de umidade continua a cair, a distância a ser coberta na difusão do calor e da massa aumenta até que, em  $X_E$ , o teor de umidade de equilíbrio cessa a secagem. O teor de umidade de equilíbrio é atingido quando a pressão parcial do vapor sobre o sólido é igual a pressão parcial de vapor no gás secante afluente. Este período é denominado o “segundo período de taxa decrescente” (FOUST et al., 1982).

#### 2.4.1.1 Classes de materiais em função do comportamento na secagem

Com base no comportamento durante a secagem, é possível dividir os materiais em duas classes principais. A primeira é constituída por sólidos granulados ou cristalinos que retêm a umidade nos interstícios entre as partículas, ou em poros superficiais, rasos e abertos. Nestes materiais, o movimento da umidade é relativamente livre e ocorre em consequência da interação das forças gravitacionais e das forças de tensão superficial (ou capilares). O sólido em si, que é usualmente inorgânico, é pouco afetado pela presença do líquido e não sofre grande ação do processo de secagem. Exemplos de materiais que pertencem a essa classe são a moinha de rocha, o dióxido de titânio, o amarelo de cromo, catalisadores, sulfato de zinco monoidratado e fosfato de sódio. Nestas substâncias, os teores de umidade no equilíbrio são usualmente muito próximos de zero (FOUST et al., 1982).

A maioria dos sólidos orgânicos é amorfa, fibrosa ou gelatinosa, e constitui a

segunda classe principal de materiais. Esses materiais retêm a umidade como parte integral da estrutura do sólido, ou então retêm-na no interior de fibras ou de poros delgados internos. Nestas substâncias, o movimento da umidade é lento e provavelmente ocorre pela difusão do líquido através da estrutura do sólido. Por isso, as curvas de secagem das substâncias mostram períodos de taxa constante muito curtos, que terminam em valores elevados do teor crítico de umidade. Pelas mesmas razões, o primeiro período de taxa decrescente é muito reduzido, e a maior parte do processo de secagem é controlada pela difusão do líquido; isto é, a velocidade de secagem é controlada pela velocidade de difusão do líquido através do sólido. A maior parte da secagem ocorre no segundo período de taxa decrescente. Os teores de umidade no equilíbrio são em geral elevados, o que indica ser significativa a quantidade de água que é retida intimamente na estrutura do sólido, ou em poros tão delgados que a sua pressão de vapor é significativamente reduzida. Em virtude de a água presente fazer parte da estrutura do sólido, esta é afetada pela remoção da umidade. As camadas superficiais tendem a secar mais rapidamente que o interior. Quando a taxa de secagem for muita elevada, é possível que se estabeleçam diferenças tão grandes no teor de umidade no interior da amostra que a amostra se deforma. Em outros casos, é possível que se forme um revestimento relativamente impermeável de material parcialmente seco, que inibe o prosseguimento da secagem no interior e pode acentuar a desigualdade de teores de umidade na amostra, com o conseqüente realce da tendência de o sólido deteriorar-se. Em virtude destas circunstâncias, as condições de realização da secagem são críticas e devem ser escolhidas tendo em vista os efeitos que podem ter sobre a qualidade do produto, a economia do processo ou a comodidade da operação. Exemplos destes materiais incluem ovos, os detergentes, as colas, o extrato de café solúvel, cereais, amido, sangue animal e extrato de soja (FOUST et al., 1982).

### 2.4.2 Atividade de água

O controle da atividade de água para preservação de alimentos com qualidade e segurança é um fator muito importante para a indústria de alimentos. Limitando-se o valor da atividade de água, pode-se limitar o crescimento microbiano. Valores de atividade de água abaixo de 0,60 são os mais indicados para preservação de alimentos, pois nestes valores não há praticamente nenhum crescimento microbiano (RIZVI, 1986).

A Equação 2.1 mostra como é definida a atividade de água ( $a_w$ ), onde:  $p_w$  é a pressão parcial de vapor d' água no alimento,  $P_w^0$  é a pressão parcial de vapor da água pura, na mesma temperatura (T) e UR é a umidade relativa do ar, em equilíbrio com o produto.

$$a_w = \left( \frac{P_w}{P_w^0} \right)_T = \frac{UR}{100} \quad (2.1)$$

Os fatores que limitam a vida de prateleira dos produtos desidratados são normalmente o oxigênio e a umidade, que podem agir independentemente ou em conjunto. Outros fatores também podem interferir, como a temperatura, pH, potencial de oxidação-redução, disponibilidade de nutrientes, presença de inibidores de crescimento (RIZVI, 1986).

### 2.4.3 Isoterma de sorção de umidade

Para medidas de atividade de água, pode-se usar métodos integrais e diferenciais. O método integral consiste em submeter várias amostras a diferentes condições ambientais, acompanhando as mudanças da quantidade de umidade através de pesagens. O método diferencial consiste em submeter uma única amostra a diferentes condições, aumentando ou diminuindo a umidade do ambiente após o equilíbrio de cada condição, esse método tem vantagens por utilizar apenas uma amostra, porém devido ao

longo tempo necessário para atingir cada ponto de equilíbrio a amostra pode sofrer algumas alterações degenerativas. Este problema pode ser controlado pelo uso do método integral (RIZVI, 1986).

Para gerar ambientes com condições definidas de atividade de água para alimentos e também para calibrações, normalmente usa-se soluções saturadas de sais, ácido sulfúrico ou glicerina. As soluções saturadas de sais são as mais usadas por fornecerem apenas um valor de atividade de água a uma dada temperatura (RIZVI, 1986).

A melhor maneira de conhecer o comportamento higroscópico dos produtos alimentícios é através das isotermas de sorção. O interesse teórico e prático de conhecer as isotermas de produtos desidratados é essencial para estabelecer condições ideais de conservação, de transformação e do dimensionamento dos equipamentos de secagem e de transporte (DA COSTA et al., 2003).

Algumas equações são geralmente usadas para descrever quantitativamente o fenômeno de sorção. As mais utilizadas são a de Brunauer, Emmett e Teller (BET) com dois parâmetros, equação (2.2), e a equação (2.3) de Guggenheim, Anderson e De Boer (GAB). A equação de GAB é a mais indicada para alimentos, segundo TIMMERMANN et al. (2001).

$$\frac{X_e}{X_m} = \frac{C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 - a_w + C \cdot a_w)} \quad (2.2)$$

$$\frac{X_e}{X_m} = \frac{C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (2.3)$$

onde,  $a_w$  é a atividade de água,  $X_m$  é o valor da monocamada (gw/gss),  $C$  é a constante de sorção,  $K$  é o fator de correção e  $X_e$  representa a umidade no equilíbrio (gw/gss)

#### 2.4.4 Reidratação

As características de reidratação de produtos secos são usadas como parâmetro de qualidade e indicam as mudanças físicas e químicas durante a secagem, bem como a influência das condições de processo, pré-tratamento e da composição da amostra (LEWICKI, 1998; FUNEBO & OHLSSON, 1998).

LEWICKI et al. (2002) estudaram três tipos de processos de secagem de tomates: a) pré-tratados com solução de  $\text{CaCl}_2$  2%, por 24 horas, a 20°C; b) pré-tratados como no procedimento anterior e posteriormente desidratados osmoticamente com solução de sacarose 61,5%, por 180 minutos, a 30°C; c) desidratados osmoticamente com solução de sacarose 61,5% e  $\text{CaCl}_2$  2%, por 180 minutos, a 30°C. Em seguida, as amostras foram submetidas a secagem convectiva a 60°C e velocidade do ar de secagem de 2m/s e os processos foram comparados à secagem convectiva sem pré-tratamento. Com base nos dados obtidos, concluíram que os tomates que não sofreram nenhum tipo de pré-tratamento tiveram uma melhor reidratação, absorvendo 30% de água com relação ao seu peso anterior ao processo de secagem. Tomates pré-tratados com  $\text{CaCl}_2$  tiveram esse valor reduzido a 20%, enquanto que os tomates desidratados osmoticamente absorveram somente 15% de água com relação ao seu peso anterior ao processo.

FUNEBO & OHLSSON (1998) estudaram a capacidade de reidratação de cogumelos da espécie *A. bisporus* e maçã, usando secagem convectiva seguida do uso de microondas no final do processo de secagem, onde a potência das microondas aplicadas foi medida através da temperatura do centro do alimento. Para os dois alimentos estudados, a capacidade de reidratação foi melhor para o processo de secagem sem uso de microondas, para o qual os cogumelos absorveram 20% da umidade contida inicialmente na amostra e as maçãs absorveram 25%.

MASKAN (2001), estudando a secagem convectiva, o uso de microondas e a secagem convectiva seguida de microondas para obtenção de kiwi desidratado, observou

que quanto à capacidade de reidratação de kiwi cortado em pedaços de 5mm de espessura e 40mm de diâmetro, o melhor dos três processos foi a secagem convectiva seguida de microondas e o que apresentou a menor capacidade de reidratação foi observada na secagem por microondas.

## **2.5 Resfriamento a vácuo**

O resfriamento a vácuo vem sendo proposto como um método rápido de resfriamento para vários alimentos, incluindo carnes cozidas e cogumelos (BURTON et al., 1987; MC DONALD et al., 2000; DESMOND et al., 2000; HUBER, 2004). O resfriamento a vácuo vem sendo usado para resfriar vegetais folhosos como a alface (HAAS & GUR, 1987; ARTÉS & MARTÍNEZ, 1996). Existem ainda algumas pesquisas utilizando o resfriamento a vácuo no pré-resfriamento de flores (BROSNAN & SUN, 2001; SUN & BROSNAN, 1999).

Diferentemente de outros métodos de resfriamento, o resfriamento a vácuo remove calor através da evaporação da água (MC DONALD et al., 2000; MC DONALD & SUN, 2001b), diminuindo significativamente o tempo de resfriamento (BURTON et al., 1987; HAAS & GUR, 1987, MC DONALD et al., 2000).

Durante o resfriamento a vácuo, reduzindo-se a pressão do sistema, chega-se a uma menor temperatura de ebulição da água, que evapora rapidamente do produto, que se resfria para garantir a evaporação (HAAS & GUR, 1987; HOUSKA et al., 1996).

Comparado a outros métodos, como resfriamento por convecção forçada de ar frio e por imersão em água, o resfriamento a vácuo é o método mais rápido. Porém, é o processo que causa a maior perda de massa por estar intrinsecamente associado com a evaporação da água livre do produto (MC DONALD et al., 2000; SUN & WANG, 2000 e 2004). Curvas típicas de resfriamento de cortes de carne com 4 a 5 kg resfriados por diferentes métodos está apresentada na Figura 2.3 e mostrando que o resfriamento a vácuo é o mais rápido dos métodos.

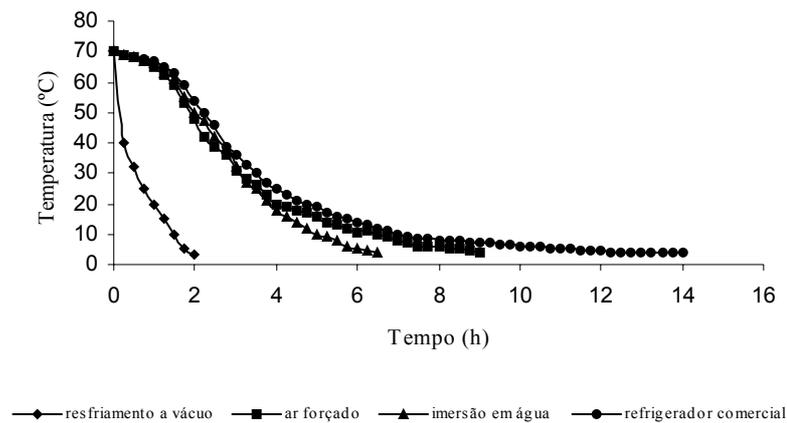


Figura 2.3 Curvas típicas de resfriamento de cortes de carne cozidos (4 a 5 kg) resfriados por diferentes métodos (MC DONALD & SUN, 2000).

Sendo a perda de massa a maior desvantagem do resfriamento a vácuo, existem estudos que buscam a sua minimização. A perda de massa pode ser minimizada, no caso de carnes ou alimentos prontos, através da injeção de salmouras ou molhos (SELF et al., 1990; SUN & WANG, 2000 e 2004; MC DONALD et al., 2000; WANG & SUN, 2002) ou, no caso de alfaces, cogumelos e flores através da aspensão de água antes do resfriamento (BURTON et al., 1987; HAAS & GUR, 1987; SUN & BROSNAN, 1999).

Qualquer produto que tenha água livre e cuja estrutura não seja destruída pela remoção dessa água pode ser resfriado a vácuo (WANG & SUN, 2001).

### 2.5.1 Princípio do resfriamento a vácuo

A água evapora a 100°C à pressão atmosférica. A redução de pressão causa um abaixamento na temperatura de ebulição da água. Isso significa que a água pode evaporar a temperaturas tão baixas quanto 0°C se esta estiver a uma pressão de 4,6 mmHg (GEANKOPLIS, 1993).

Se um produto com alto teor de umidade for submetido a uma pressão sub-atmosférica, parte da água do produto evapora, resfriando o mesmo (MC DONALD & SUN, 2000).

O resfriamento a vácuo é um processo em batelada. Um sistema típico desse tipo

de resfriamento consiste de dois componentes básicos: uma câmara de resfriamento e uma bomba de vácuo (MC DONALD & SUN, 2000). O processo de resfriamento a vácuo acontece em dois estágios distintos: (a) remoção da maior parte do ar da câmara até a pressão de saturação à temperatura inicial do produto, com um pequeno resfriamento e (b) a redução contínua da pressão no interior da câmara até uma pressão final, que promoverá a mudança de fase responsável pelo resfriamento do produto (WANG & SUN, 2001).

A câmara de resfriamento é normalmente horizontal, de formato cilíndrico ou retangular e deve acomodar o produto a ser resfriado. Durante o processo de resfriamento, a porta da câmara deve estar hermeticamente fechada e qualquer vazamento que permita a entrada de ar comprometerá o processo (WANG & SUN, 2001). A bomba de vácuo deve ser projetada para reduzir rapidamente a pressão da câmara, da pressão atmosférica até a pressão de saturação na temperatura inicial do produto. As bombas mais utilizadas para o resfriamento a vácuo são as rotativas com óleo (MC DONALD & SUN, 2000).

## **2.5.2 Aplicações do resfriamento a vácuo**

### **Resfriamento a vácuo de produtos cárneos e pratos prontos**

Na indústria, as carnes cozidas são normalmente resfriadas utilizando métodos convencionais como resfriamento por ar frio (túnel ou câmaras) e por imersão em água. Durante o resfriamento convencional, o calor é removido do centro para a superfície por condução e é liberado para o meio refrigerante. Quando se trata de um corte de carne de grandes dimensões fica complicado reduzir o tempo de resfriamento, pois por convecção é muito difícil reduzir a temperatura do centro da carne, limitando a velocidade de resfriamento (SUN & WANG, 2000).

Se a velocidade de resfriamento for suficientemente lenta, os esporos que sobreviveram ao cozimento podem germinar, crescer e formar toxinas (MC DONALD &

SUN, 2000; WANG & SUN, 2001 e 2004). Por razões de segurança, um menor tempo de resfriamento da carne irá minimizar o crescimento de patógenos sobreviventes ao cozimento (SUN & WANG, 2000).

Com base nesse fato muitas pesquisas vêm mostrando a possibilidade do uso do resfriamento a vácuo para o resfriamento rápido de carnes e produtos cárneos cozidos (MC DONALD & SUN, 2000; HUBER, et al., 2003 e 2004; HUBER, 2004). Alguns autores têm comparado diversos métodos de resfriamento e concluíram que o resfriamento a vácuo é a técnica mais rápida para reduzir a temperatura de presuntos e cortes grandes de carnes cozidas (DESMOND et al., 2000; MC DONALD et al., 2000; SUN & WANG, 2000). Resfriando aproximadamente 7 kg carnes cozidas por diferentes métodos de resfriamento, SUN & WANG (2000) obtiveram os seguintes tempos para reduzir a temperatura do centro da carne de 70 para 10°C: 75 minutos para o resfriamento a vácuo, 570 minutos para o resfriamento por ar forçado e 465 minutos para imersão em água.

A perda de água é um efeito significativo na qualidade das carnes, principalmente na textura. Cortes de carne resfriados a vácuo foram classificados como rígidos (MC DONALD et al., 2000). Como alternativa foi sugerida a injeção de molhos e salmouras para melhorar a qualidade sensorial dos cortes de carne suína e bovina resfriados a vácuo (DESMOND et al., 2002; MC DONALD et al., 2001b; MC DONALD & SUN, 2001a).

Como solução para reduzir a perda de massa e melhorar a qualidade sensorial de carnes cozidas e resfriadas, HOUSKA et al. (2003) propuseram imersão dos cortes de carne em molhos durante o resfriamento a vácuo. Esse procedimento levou a uma redução da perda de massa e em alguns casos houve até mesmo um ganho de massa. O molho penetra nos poros da carne no final do resfriamento, quando a pressão ambiente é restabelecida e o ar entra rapidamente na câmara de resfriamento a vácuo.

Os produtos da indústria de panificação como panetones, tortas salgadas e alguns tipos de pães também foram alvos de estudo utilizando a técnica do resfriamento a vácuo. Conforme MC DONALD & SUN (2000), os produtos de panificação normalmente são resfriados de 98 a 30°C e têm perda de massa de cerca de 1% para diminuição de 10°C na temperatura, o que resulta em cerca de 6,8% de perda de massa total para esse resfriamento.

### **Resfriamento a vácuo de frutas, vegetais e flores**

O resfriamento a vácuo de alfaces é um dos mais apropriados devido às características desse vegetal, que possui uma grande área superficial, que é uma das características desejáveis para a aplicação do processo. Atualmente o resfriamento a vácuo é a técnica empregada para o resfriamento rápido de alfaces, não somente nos Estados Unidos como também em muitos países da Europa (HAAS & GUR, 1987)

Alfaces estocadas a temperatura ambiente tem vida de prateleira de aproximadamente 3 a 5 dias. Se estocadas a 1°C com 90% de umidade relativa podem ter a vida de prateleira aumentada para mais de 14 dias (ARTÉS & MARTÍNEZ, 1996). O uso do resfriamento a vácuo no resfriamento de vegetais como a alface pode reduzir a temperatura de cerca de 25°C para 1°C em menos de 30 minutos. Após este tempo os vegetais podem ser distribuídos em caminhões refrigerados (ARTÉS & MARTÍNEZ, 1996; MC DONALD & SUN, 2000). Os efeitos do resfriamento a vácuo e das embalagens no aumento da vida de prateleira e na perda de massa de alfaces vem sendo extensivamente estudados (MARTÍNEZ & ARTÉS, 1999; ARTÉS & MARTÍNEZ, 1996; HAAS & GUR, 1987; HE et al, 2004).

MC DONALD & SUN (2000) citam que o resfriamento a vácuo tem aplicação prática também para outros vegetais, frutas e grãos, incluindo morangos, groselha, melões, couve, espinafre, brócolis, arroz, pimentões, nabo, pepinos e cenouras. Pesquisas têm mostrado que para frutas e vegetais com alto teor de umidade como estes

mencionados, quando resfriados da temperatura ambiente de 25°C para 1°C perdem cerca de 4% do seu peso. A perda de peso é um problema significativo do resfriamento a vácuo de vegetais e frutas. A aspersão de água antes do resfriamento pode reduzir a perda de massa (BROSNAN & SUN, 2001).

Existem estudos comprovando que flores resfriadas a vácuo logo após a colheita aumentam significativamente a sua “vida de vaso”. Segundo SUN & BROSNAN (1999) a vida útil de narcisos resfriados a vácuo imediatamente após a colheita pode aumentar de 3 para 4 dias. O tempo médio de resfriamento é de 65 segundos, para reduzir a temperatura até 2°C. Aspergindo água nas flores antes do resfriamento a vácuo o tempo de resfriamento pode ser reduzido para 40 a 45 segundos e a perda de massa pode ser reduzida de 3% para 1,5 %. BROSNAN & SUN (2001), estudaram a aspersão de água em lírios antes do resfriamento a vácuo e concluíram que a aspersão de água reduziu os percentuais de perda de massa de 5,4 % para até 0%, não tendo influência na vida útil das flores.

### **Resfriamento a vácuo de cogumelos**

À temperatura ambiente, a vida de prateleira de cogumelos é de 3 a 4 dias, período que pode ser ampliado significativamente estocando os cogumelos em refrigeradores (LUKASSE & POLDERDIJK, 2003; VILLAESCUSA e GIL, 2003). O fato dos cogumelos possuírem cerca de 90% de água e estrutura porosa (BONONI et al, 1995; BISARIA & MADAN, 1983) os torna suscetíveis ao resfriamento a vácuo. A técnica do resfriamento a vácuo vem sendo adotada comercialmente para resfriar cogumelos nos Estados Unidos, na Inglaterra e em outros países da Europa (MC DONALD & SUN, 2000).

Contudo, pesquisas têm mostrado que o resfriamento a vácuo, por um lado acelera o resfriamento, porém por outro pode causar alguns efeitos desagradáveis na qualidade dos cogumelos. Barnard (1974) apud MC DONALD & SUN (2000), observou que

cogumelos com o píleo aberto tiveram maior perda de massa do que os cogumelos que apresentavam o píleo fechado, concluindo que a perda de massa aumenta com o aumento da área superficial.

BURTON et al. (1987) resfriaram cogumelos da espécie *Agaricus bisporus* e por análise de microscopia eletrônica de varredura, não encontraram diferenças na estrutura dos cogumelos resfriados a vácuo e convencionalmente. Com relação ao escurecimento, mesmo após 102 horas estocados a 5°C não foi detectado escurecimento significativo, porém os cogumelos resfriados a vácuo tiveram menor escurecimento do que os resfriados convencionalmente. Quando os cogumelos foram estocados a 18°C houve um aumento linear no escurecimento com o tempo de estocagem.

A perda de massa dos cogumelos estocados a 5°C foi consideravelmente menor do que aqueles estocados a 18°C. A diferença entre a perda de massa após os dois tipos de resfriamento foi pequena, porém significativa, sendo que cogumelos resfriados a vácuo tiveram perda de massa 1,7% maior do que os resfriados convencionalmente (BURTON et al, 1987).

## Capítulo 3

# Material e métodos

### 3.1 Cultivo de *Pleurotus ostreatus*

A forma de cultivo de *Pleurotus ostreatus* utilizada para obtenção dos corpos de frutificação utilizados neste trabalho está ilustrada esquematicamente pelo fluxograma apresentado na Figura 3.1.

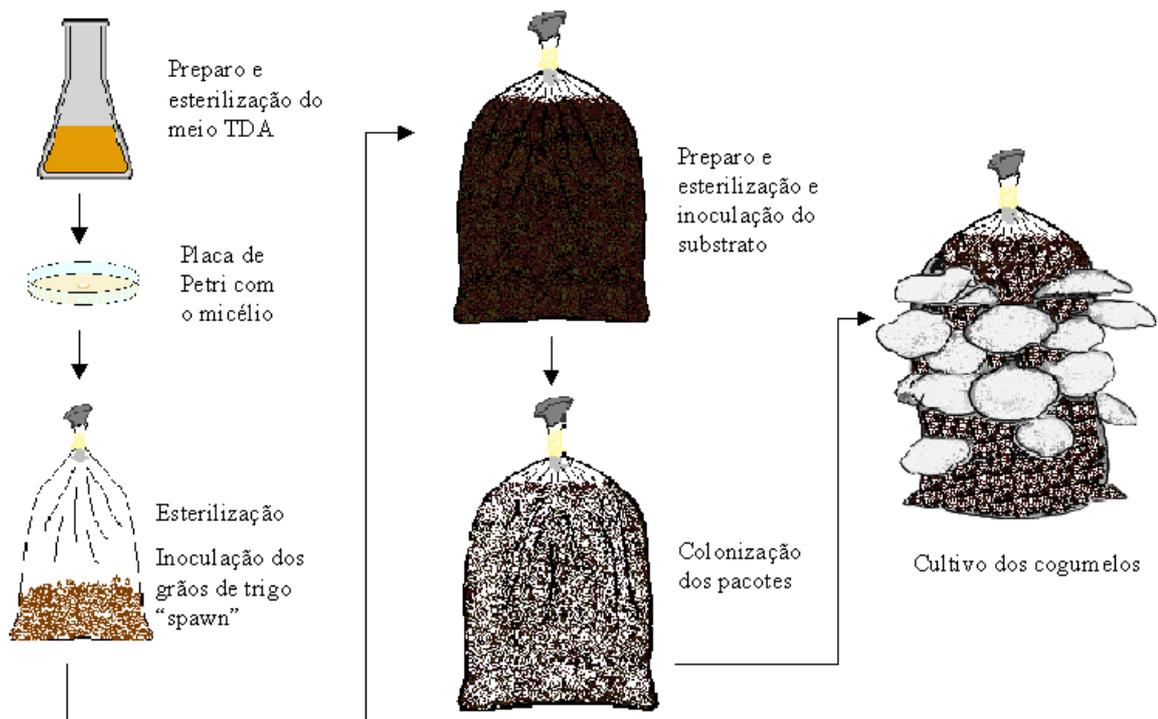


Figura 3.1 Fluxograma do cultivo de *Pleurotus ostreatus* DSM 1833.

### 3.1.1 Microrganismo e manutenção

Em todos os experimentos foi utilizada a linhagem *Pleurotus ostreatus* obtida da “Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH” sob o código DSM 1833.

A cultura foi mantida em placas de Petri contendo meio TDA, com a seguinte composição por litro: extrato de trigo (obtido da fervura de grãos de trigo em água na proporção de 1:2 (p:v), durante 10 minutos, filtrado), 20g de dextrose e 15 g de ágar. O meio foi esterilizado em autoclave (QUIMIS, Q-190-22) a 121°C, durante 20 minutos.

Cada placa foi inoculada com um disco de ágar de 12mm de diâmetro, contendo o micélio fúngico, proveniente de uma cultura prévia, colocada no centro da placa, incubada a 30°C até o desenvolvimento do micélio por toda placa. As placas foram conservadas em refrigerador, por até 3 meses.

### 3.1.2 Produção de inóculo ou “spawn”

Na produção de inóculo foi utilizado como substrato e suporte para crescimento, grãos de trigo lavados em água corrente e cozidos durante 10 minutos (após início da fervura) em água destilada na proporção 1:2 (grãos de trigo:água – p:v). O extrato proveniente do cozimento foi drenado e os grãos foram suplementados com  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaSO}_4$  nas proporções de 0,35% e 1,3%, respectivamente, com relação ao peso dos grãos antes da fervura. A adição destes componentes tem a finalidade de manter o pH ligeiramente alcalino e deixar os grãos descompactados.

Os grãos cozidos e suplementados foram então embalados (250g de grãos de trigo/saco de polipropileno de 200x 300 mm), fechados e esterilizados em autoclave (QUIMIS, Q-190-22) a 121°C, durante 1 hora. Após a esterilização, cada saco foi inoculado com 3 discos de ágar com 12mm de diâmetro contendo o micélio fúngico e

incubado em estufa microbiológica (WTB, Binder), a 30°C, em ausência de luz, até colonização total dos grãos de trigo (aproximadamente 15 dias).

### **3.1.3 Substrato para frutificação**

Folhas de bananeira em estado de senescência, secas e trituradas em partículas de 2 a 5 cm, em triturador (Trapp) foram colocadas em sacos de rafia e imersas em água por 12 h. Logo após foram escorridas por 4 horas e suplementadas com 5% de farelo de arroz em relação ao peso seco das folhas de bananeira, para aumentar o teor de nitrogênio disponível (BONATTI, 2001 e SANTOS, 2000). Em seguida, 150g (massa seca) das folhas tratadas e suplementadas foram acondicionadas em pacotes de polipropileno transparentes de dimensões de 300 x 400 mm e esterilizados por 1 hora a 121°C em autoclave a gás da marca Phoenix AV –137.

Assim que os pacotes atingiram a temperatura ambiente, foram inoculados em cabine de segurança biológica com fluxo laminar (Veco). A fração de inóculo utilizada foi de 10% com relação à massa seca do substrato.

Após a inoculação, a propagação do micélio sobre o substrato foi feita em estufa a 30°C, sem iluminação. A transferência dos pacotes para a câmara de frutificação se deu quando a colonização do substrato era total.

### **3.1.4 Condições de cultivo**

Os cogumelos foram cultivados na Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE (Joinville –SC) em câmara de cultivo de 24 m<sup>2</sup>, dispondo de controle automático de iluminação e de temperatura e sistema de manutenção de umidade composto de umidificador de ambientes elétricos da marca Umidvap.

Os sacos colonizados pelo micélio fúngico foram pendurados em prateleiras a 180, 120 e 60 cm do solo, recebendo iluminação variando de 500 a 1000 lux, num fotoperíodo de 12 horas de luz/dia. A temperatura foi mantida em torno de 27°C e a umidade relativa

do ar em torno de 90%. Na Figura 3.2, apresenta-se uma fotografia ilustrativa da câmara de cultivo, com os sacos contendo o composto inoculado.



Figura 3.2 Câmara de frutificação de *P. ostreatus* contendo pacotes com o substrato colonizado para frutificação

Foi realizada a indução dos primórdios através de pequenas perfurações nos pacotes plásticos com o auxílio de um bisturi.

Quando observadas emissões de primórdios, os pacotes eram abertos nos locais do aparecimento, para propiciar a frutificação. Os pacotes eram pulverizados com água deionizada duas vezes ao dia para evitar o ressecamento do substrato e dos corpos frutíferos.

### 3.1.5 Colheita

A determinação de ponto de colheita foi realizada de maneira visual, conforme descrito por STURION (1994) e BONONI et al. (1995). O procedimento de colheita foi de forma seletiva e os cogumelos foram colhidos quando as margens do píleo apresentavam-se planas, ou seja, no estágio precedente a esporulação, a fotografia apresentada na Figura 3.3 mostra o ponto de colheita do *Pleurotus ostreatus*. Os cogumelos foram então

submetidos a um dos dois tratamentos pós-colheita, ou seja, secagem ou resfriamento a vácuo.



Figura 3.3 Fotografia ilustrando o ponto de colheita do *Pleurotus ostreatus*

### 3.2 Secagem

Após a colheita dos cogumelos, foram colocados aproximadamente 50g destes em placa de Petri acoplada a um dispositivo colocado sobre uma balança semi-analítica (Mettler PM 4800) a fim de acompanhar a perda de água durante todo o processo de secagem. Os cogumelos foram desidratados nas temperaturas de 40, 50 e 60°C até peso constante, em estufa com circulação de ar (Shellab, 1370 FX) conforme esquema da Figura 4.4. A massa da amostra foi registrada em intervalos de 15 minutos. Para manter uma umidade relativa do ar constante (75%), colocou-se um refratário de vidro com solução saturada de NaCl na parte inferior da estufa. As temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido foram acompanhadas durante a secagem por termômetro de mercúrio com escala de -10 a 110°C com precisão de 0,5°C. A determinação da massa seca para os cálculos do teor de umidade das amostras foi feita através de secagem em estufa a 90°C por 48 horas.

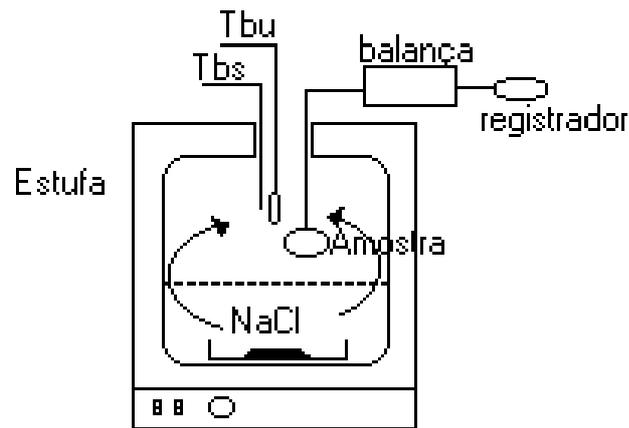


Figura 3.4 Esquema do dispositivo experimental usado na secagem dos cogumelos

O teor de umidade ( $X$ ) contido nas amostras foi calculado em relação a base seca pela Equação 3.1.

$$X = \frac{(\text{massa de água})}{(\text{massa seca})} \text{ (g w/g ss)} \quad (3.1)$$

As curvas experimentais do teor de umidade ( $X$ ) com relação ao tempo de secagem ( $t$ ) foram derivadas para obtenção das curvas de  $-dX/dt$  com relação ao tempo de secagem ( $t$ ).

As fotografias dos cogumelos “*in natura*” e desidratados foram realizadas no estúdio fotográfico da UNIVILLE utilizando-se câmera digital da marca Cânon EOS 10D.

### 3.2.1 Isotermas de sorção de umidade

Para determinação das isotermas de sorção foi utilizado o método dos dessecadores (RIZVI, 1986), onde foram usados 12 potes hermeticamente fechados, contendo no fundo diferentes soluções salinas saturadas, com umidades relativas conhecidas. Os sais utilizados e as respectivas atividades de água (umidades relativas)

estão listados na Tabela 3.1. Em cada pote foram colocados aproximadamente 2 g de amostra, em cadinho de porcelana, que foram pesados periodicamente até peso constante. Os potes foram colocados em incubadora Certomat U da B. Braun nas temperaturas de 30, 40 e 50°C. Em geral foram necessários aproximadamente 25 dias para os cogumelos atingirem o equilíbrio com os ambientes dos dessecadores.

Foram determinadas as isotermas de sorção de umidade de três tipos de amostras: 1. cogumelos *In natura*; 2. cogumelos desidratados; 3. cogumelos desidratados em pó.

Tabela 3.1 Atividades de água a 20°C e sais utilizados no experimento de determinação das isotermas de sorção de umidade dos cogumelos

Sal	Fórmula	Atividade de água ( $a_w$ )
Cloreto de lítio	LiCl	0,113
Acetato de potássio	CH <sub>3</sub> COOK	0,231
Cloreto de magnésio	MgCl <sub>2</sub>	0,331
Carbonato de potássio	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,450
Hidrogeno sulfato de sódio	NaHSO <sub>4</sub>	0,520
Nitrato de magnésio	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,544
Iodeto de potássio	KI	0,699
Cloreto de sódio	NaCl	0,755
Cloreto de potássio	KCl	0,851
Cromato de potássio	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	0,880
Sulfato de sódio heptahidratado	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,950
Nitrato de chumbo II	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,980

Fonte: RIZVI, 1986.

### 3.2.2 Reidratação

Para determinação da capacidade de reidratação dos cogumelos foi utilizado um planejamento experimental fatorial 3<sup>3-1</sup>, resultando em 9 experimentos em duplicata.

Foram avaliados a temperatura de secagem, o tempo de reidratação e a temperatura inicial da água de reidratação, em três níveis, conforme mostra a Tabela 3.2. A massa de amostra utilizada em cada experimento foi de aproximadamente 2,000g, imersas em 100mL de água. Após o tempo de reidratação estabelecido, o excesso de água foi drenado e retirado com papel absorvente.

Tabela 3.2 Parâmetros e níveis do planejamento experimental de reidratação  $3^{3-1}$ .

Parâmetros	Níveis		
	-1	0	+1
Temperatura de secagem (°C)	40	50	60
Temperatura da água de reidratação (°C)	25	55	85
Tempo de reidratação (min)	30	75	120

### 3.3 Resfriamento a vácuo

O sistema para resfriamento a vácuo utilizado está esquematizado na Figura 3.5, sendo constituído por uma bomba de vácuo marca JB, modelo DV-200N, com vazão de 200 L/min, uma câmara de vácuo (dessecador de vidro adaptado) com volume de 13,35 litros, um manômetro de mercúrio, um condensador em espiral imerso em banho com gelo e um recipiente para “trapping” de gotículas de água, evitando que essas gotículas atingissem a bomba de vácuo.

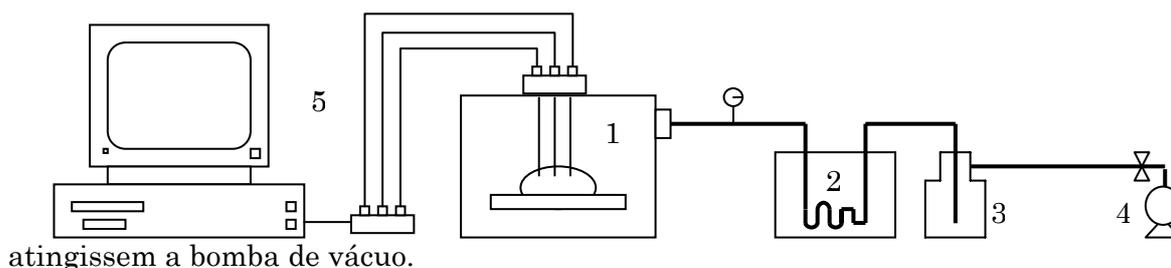


Figura 3.5 Representação esquemática de um sistema de resfriamento a vácuo experimental (1 – câmara de vácuo com amostra e termopares; 2 – condensador; 3 – “trapping”; 4 – bomba de vácuo; 5 – sistema de aquisição de dados).

O sistema de aquisição de dados foi composto de uma placa de aquisição com 12 bits de resolução e 8 canais de entrada analógica (COMPUTER BOARDS INC., modelo CIO-DAS08/Jr-AO), ligada a um microcomputador. Os sinais dos sensores de temperatura foram convertidos através de interfaces (COEL, modelo AI-1002). Um aplicativo para o software Elipse SCADA (HMI/SCADA Software), permitiu a visualização e o registro dos dados experimentais.

Antes do resfriamento, os cogumelos foram pesados e em seguida fez-se a inserção de três termopares nos mesmos: um no talo, um no centro e um na superfície do píleo. Foram utilizados termopares tipo “T”, bitola de 2 x 24 AWG, marca Iope, com o objetivo de determinar as evoluções temporais das temperaturas durante a aplicação do vácuo. Um quarto termopar foi utilizado para monitorar a temperatura do ar no interior da câmara. O sistema de aquisição de dados foi iniciado simultaneamente ao acionamento da bomba de vácuo. O intervalo de aquisição dos dados foi de 5 segundos.

Após o resfriamento, os cogumelos foram novamente pesados e os dados de massa antes e após o resfriamento foram usados para calcular a perda de massa no resfriamento, através da Equação 3.2.

$$\Delta m_w = \frac{(m_0 - m_r)}{m_0} \quad (3.2)$$

onde  $m_0$  é a massa inicial do cogumelo e  $m_r$  é a massa do cogumelo resfriado.

A determinação do calor específico do cogumelo *Pleurotus ostreatus* DSM 1833 foi realizada através do método do calorímetro de mistura, onde o valor experimental do calor específico foi obtido através da Equação 3.3 (MC DONALD et al, 2002).

$$c_p = \frac{(T_m - T_w)(m_w c_w + m_c c_c)}{(T_p - T_m)m_p} \quad (3.3)$$

onde  $c$  é o calor específico dado em (kJ/kg°C),  $T$  é a temperatura em °C,  $m$  é a massa em kg e os subscritos  $p$ ,  $m$ ,  $w$ ,  $c$  são, respectivamente, o produto, a mistura, a água e o calorímetro.

### 3.3.1 Taxa de redução de pressão no resfriamento a vácuo

As amostras de cogumelos foram preparadas como descrito no item 3.3. O tempo total de resfriamento de 12 minutos foi mantido em todos os experimentos.

Para obtenção de diferentes taxas de redução de pressão, foi utilizado um dispositivo de vazamentos calibrados, constituído de um tubo de vidro com quatro agulhas hipodérmicas instaladas (vazamentos), o qual foi conectado à linha de vácuo.

Iniciava-se o processo com um determinado número de agulhas abertas e ao atingir a pressão de 270 mmHg fechavam-se as agulhas, uma a uma, até atingir a pressão final no interior da câmara ( $P_f$ ) de 10 a 5 mmHg, dependendo das condições experimentais. Para os casos de 3 e 4 agulhas estarem abertas, 1 agulha era fechada quando a câmara atingia a pressão de 350mmHg. Assim, obteve-se diferentes taxas de redução de pressão (experimentos realizados em triplicata). Foram calculadas duas taxas de redução de pressão (caracterizados por  $Y_1$  e  $Y_2$ , Equação 3.4) para cada uma das quatro curvas obtidas, onde  $Y_1$  foi relativo à taxa de redução de pressão até atingir a pressão de 270 mmHg e  $Y_2$  foi relativo à taxa de redução de pressão de 270 mmHg até se atingir a pressão final. Para determinação das taxas de redução de pressão utilizou-se a Equação 3.4, que pode ser obtida do balanço de massa na fase gasosa da câmara de vácuo durante a evacuação.

$$P = P_i e^{-Yt} \quad (3.4)$$

onde  $P$  e  $P_i$  são as pressões final e inicial da câmara (mmHg), respectivamente,  $t$  é o tempo (s) e  $Y$  é o coeficiente que caracteriza a taxa na qual ocorre a redução de pressão da câmara (s<sup>-1</sup>). Na Tabela 3.3 apresenta-se os valores de  $Y_1$  e  $Y_2$  obtidos para as cinco

diferentes curvas de redução de pressão obtidas.

Tabela 3.3 Taxas de redução de pressão utilizadas nos experimentos

Exp	P <sub>i(1)</sub> (mmHg)	P <sub>f(1)</sub> ou P <sub>i(2)</sub> (mmHg)	P <sub>f(2)</sub> (mmHg)	t <sub>1</sub> (s)	t <sub>2</sub> (s)	Taxa de redução de pressão (1) (mmHg/s)	Taxa de redução de pressão (2) (mmHg/s)	Y1(s <sup>-1</sup> )	Y2 (s <sup>-1</sup> )
A	760	270	7	12,3	201	39,8	1,3	0,08393	0,01817
B	760	270	10	22,2	181,2	22,1	1,4	0,04651	0,01819
C	760	270	10	28,5	264	17,2	1,0	0,03631	0,01248
D	760	270	5	38	96	12,9	2,7	0,02723	0,04155
E	760	270	5	70	323	7,0	0,8	0,01478	0,01235

### 3.3.2 Aspersão de água

A fim de reduzir a perda de massa no resfriamento a vácuo, água destilada foi borrifada nos cogumelos antes de serem submetidos ao resfriamento. Os cogumelos eram pesados antes e após serem borrifados com água e em seguida eram resfriados a vácuo. Logo após o resfriamento eram novamente pesados e a perda de massa era calculada pela Equação 3.2.

### 3.3.3 Simulação da perda de massa durante o resfriamento a vácuo

Um modelo físico foi utilizado para determinar a evolução temporal da massa dos cogumelos durante o resfriamento a vácuo. Para tanto, se fez necessário conhecer a massa inicial do cogumelo, a umidade inicial, o calor específico a pressão constante (cujo valor é função do teor de umidade e da temperatura), o volume da câmara de resfriamento, a vazão da bomba de vácuo e a evolução temporal da temperatura. A interdependência entre a temperatura e o calor latente de vaporização da água ( $\Delta\hat{H}_{\text{vap}}$ ) foi determinado pela Equação 3.5 (DOSTÁL et al, 1999).

$$\Delta\hat{H}_{\text{vap}} = 2,255 \times 10^3 \left( \frac{374,15 - T}{274,15} \right)^{0,38} \quad (3.5)$$

onde  $T$  é a temperatura de saturação em  $^{\circ}\text{C}$  e  $(\Delta\hat{H}_{\text{vap}})$  é o calor latente de vapor de água em  $(\text{kJ}/\text{kg})$ .

O calor específico dos cogumelos foi estimado para cada passo do resfriamento (decréscimo do teor de umidade), usando a Equação 3.6 (SINGH & HELDMAN, 2001).

$$c = 1,424x_c + 1,549x_p + 1,675x_g + 0,837x_z + 4,187x_w \quad (3.6)$$

onde  $c$  é o calor específico dado em  $(\text{kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C})$ ,  $x$  é fração mássica e os subscritos são, c, carboidratos; p, proteínas; g, gordura; z, cinzas; e w, água.

A variação temporal da massa da amostra foi calculada através do uso do algoritmo apresentado na Figura 3.6.

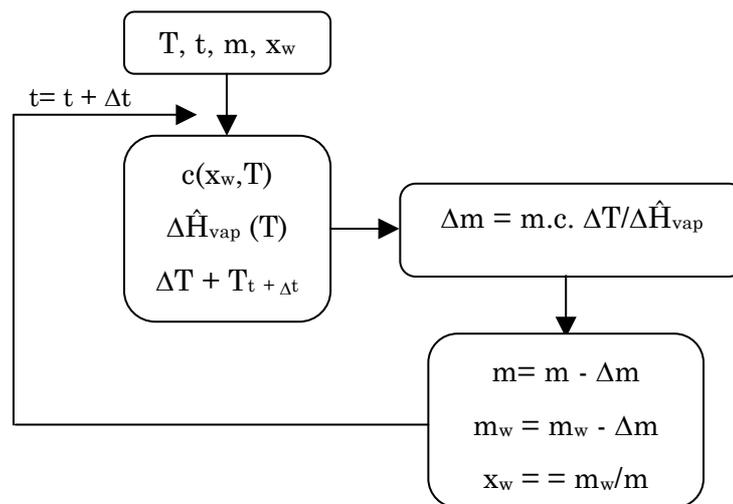


Figura 3.6 Algoritmo utilizado para o cálculo das evoluções temporais da massa dos cogumelos resfriados a vácuo. Onde,  $t$  = tempo (s);  $T$  = temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ );  $m$  = massa da amostra (kg);  $m_w$  = massa de água (kg);  $x_w$  = fração de umidade;  $c$  = calor específico  $(\text{kJ}/\text{Kg}^{\circ}\text{C})$ ;  $A\hat{H}_{\text{vap}}$  = entalpia de vaporização  $(\text{kJ}/\text{kg})$  e  $\Delta m$  = massa de água evaporada (kg).

## Capítulo 4

# Resultados e discussão

### 4.1 Secagem

Na Figura 4.1 são apresentados os dados experimentais do teor de umidade ( $X$ ) em g de água/g de sólido seco contra o tempo ( $t$ ) em minutos, dos cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus*, desidratados nas temperaturas de 40, 50 e 60°C e umidade relativa do ar de 75%. No Apêndice A, páginas 64 e 65, encontram-se as demais curvas de secagem obtidas das triplicatas dos experimentos.

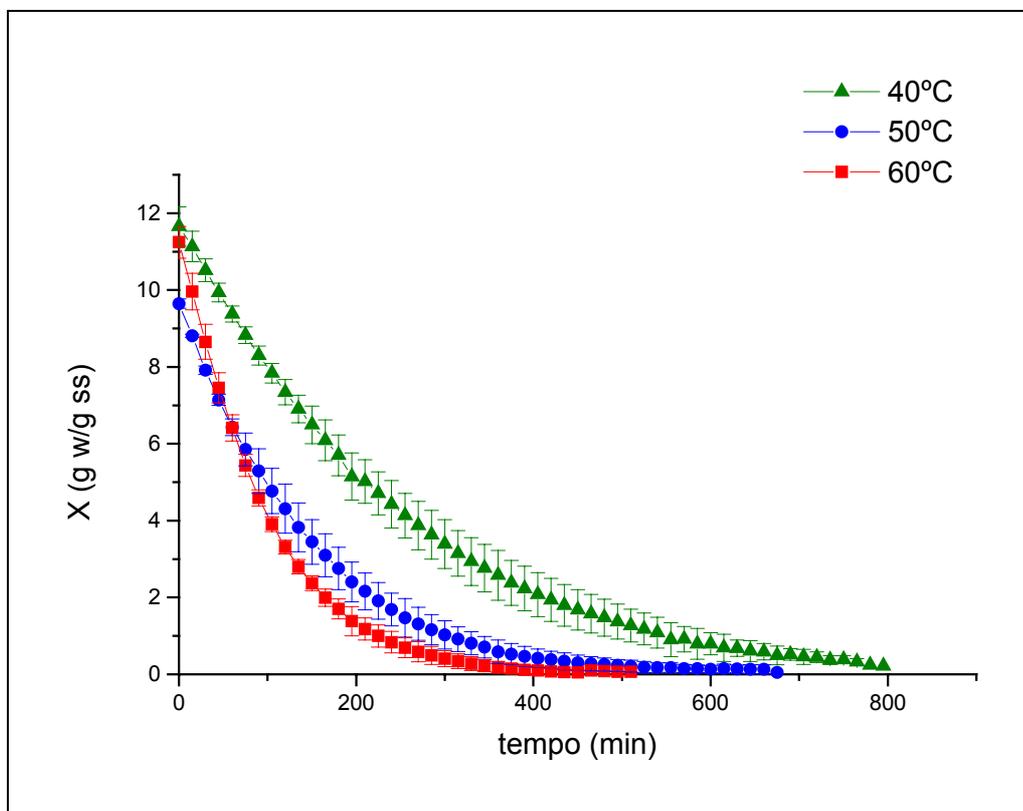
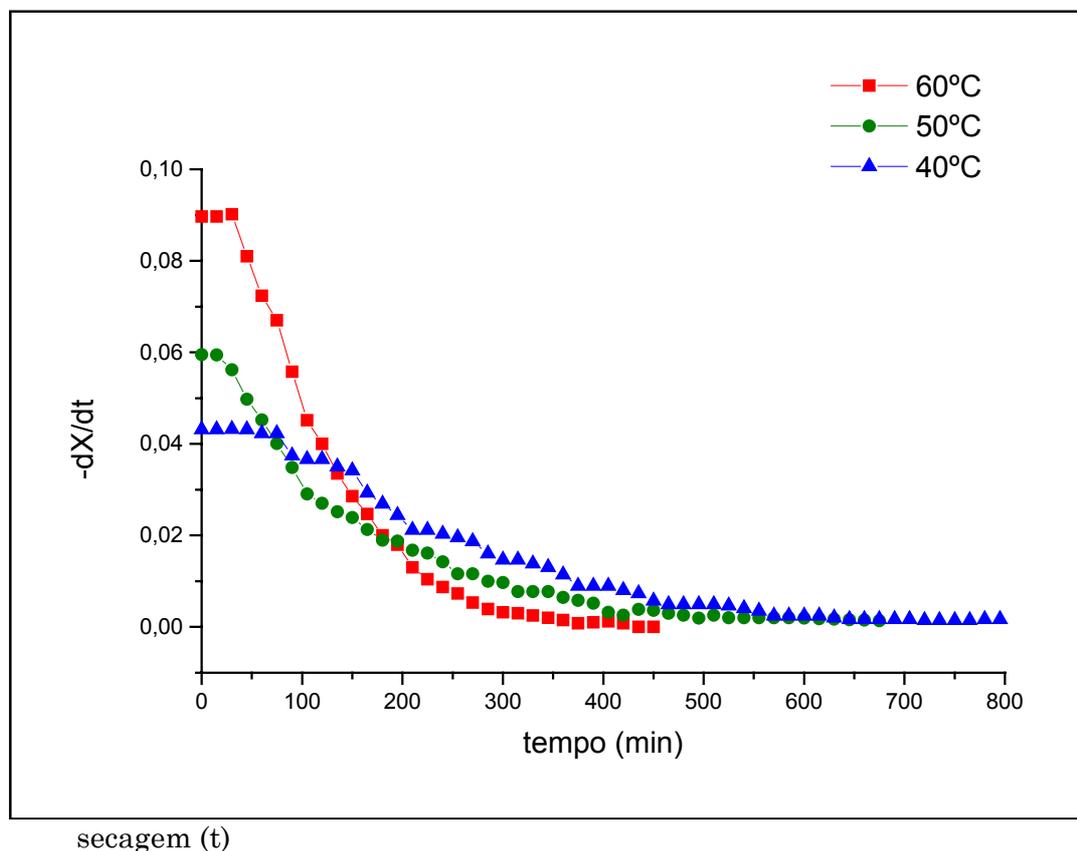


Figura 4.1 Curvas de secagem dos cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus* DSM 1833, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C e umidade relativa de 75%.

Os resultados da Figura 4.1 mostraram que a secagem dos cogumelos apresentou um pequeno período onde a taxa (velocidade) de secagem foi constante. Esse fato pode ser melhor visualizado na Figura 4.2, que representa as curvas das taxas de secagem ( $-dX/dt$ ) em função dos tempos de secagem ( $t$ ), nas temperaturas de 40, 50 e 60°C e umidade relativa do ar de secagem de 75% (as demais curvas das taxas de secagem podem ser encontradas no Apêndice B, páginas 65 e 66), onde observa-se tempos médios de secagem a taxa constante aproximados de 65 minutos para a temperatura de 40°C, 35 minutos para a temperatura de 50°C e 25 minutos para a temperatura de 60°C.

Figura 4.2 Taxa de secagem de *Pleurotus ostreatus* ( $-dX/dt$ ) em função do tempo de



Na secagem de alimentos com altos teores de umidade, espera-se que exista um grande período de secagem a taxa constante. Mesmo tendo cerca de 90% de umidade, os cogumelos do gênero *Pleurotus* apresentaram um reduzido período a taxa constante.

MARTÍNEZ-SOTO et al. (2001) observaram um período a taxa constante muito pequeno (5 minutos) na secagem de cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus*. Alguns autores observaram uma não existência de um período de secagem a taxa constante na desidratação de alimentos como MASKAN (2000 e 2001), estudando a secagem de banana. e de kiwi, ARORA et al., (2003) também observaram a ausência desse período em seus estudos na secagem de *Pleurotus florida*.

Utilizando-se a temperatura de 60°C, observou-se que há um aumento na velocidade de secagem comparado às temperaturas de 40 e 50°C. Isso implicou em uma redução nos tempos de secagem de 800 para 450 minutos quando se alterou a temperatura de secagem de 40 para 60°C e de 630 para 450 minutos quando se trocou a temperatura de 50 para 60°C, o que implicou em reduções de tempos de 43,7% e 28,6%, respectivamente, para os dois casos citados. Resultados semelhantes foram encontrados por MASKAN (2000) secando banana, MASKAN (2001), secando kiwi, ARORA et al., (2003), secando cogumelos das espécies *A. bisporus* e *P. florida*, KROKIDA et al., (2003), secando diversos vegetais e cogumelos de interesse para preparo de sopas. PAL & CHAKRAVERTY (1997), secando *P. ostreatus* observaram uma redução de 40% no tempo de secagem quando se alterou a temperatura de secagem de 45 para 60°C.

Aspectos visuais dos cogumelos, desidratados em qualquer uma das temperaturas avaliadas, não foram afetadas, como pode ser observado nas Figuras 4.3, 4.4 e 4.5.



Figura 4.3 Foto de cogumelos da espécie *P. ostreatus* desidratados a 40°C e UR 75%



Figura 4.4 Foto de cogumelos da espécie *P. ostreatus* desidratados a 50°C e UR 75%



Figura 4.5 Foto de cogumelos da espécie *P. ostreatus* desidratados a 60°C e UR 75%

## 4.2 Reidratação

Em um processo de secagem, além da avaliação dos tempos e das velocidades de secagem, deve-se avaliar também a qualidade do produto desidratado, realizando-se experimentos de reidratação.

Na Figura 4.6, apresenta-se fotografias que permitem uma comparação visual entre os cogumelos “in natura”, desidratados e reidratados. Pode-se observar que os cogumelos reidratados têm boa aparência. Embora as fotografias não mostrem, os cogumelos reidratados não voltam a ter a mesma aparência dos cogumelos “in natura”, pois não se reidratam completamente.



Figura 4.6 Cogumelos *P. ostreatus* “in natura”, desidratados e reidratados.

Segundo o gráfico de Pareto apresentado na Figura 4.7 e a análise de variância (ANOVA) apresentada na Tabela 4.1, a capacidade de reidratação está estatisticamente relacionada à temperatura de secagem.

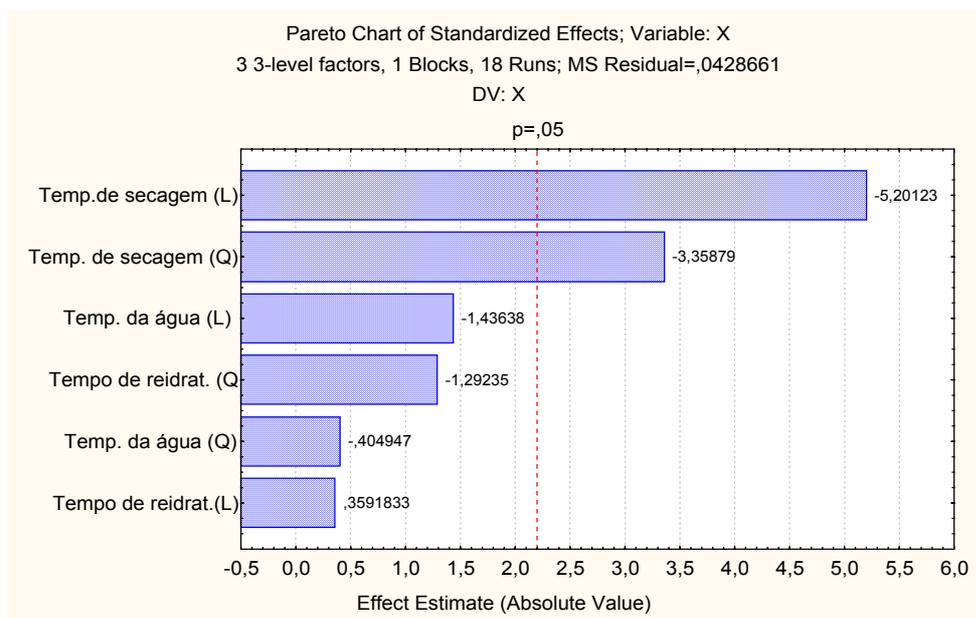


Figura 4.7 Gráfico de Pareto, para os parâmetros relacionados à capacidade de reidratação dos cogumelos da espécie *P. ostreatus* DSM 1833.

Tabela 4.1 ANOVA para os parâmetros temperatura de secagem, temperatura da água de reidratação e tempo de reidratação com relação a capacidade de reidratação dos cogumelos da espécie *P. ostreatus*.

	SQ	gl	Q M	F	p
Temperatura de secagem (L)	5,039028663	1	1,15964575	25,17329353	0,000523817
Temperatura de secagem (Q)	4,936230886	1	0,483591757	10,49768624	0,008869216
Temperatura da água de reidratação (L)	4,495305614	1	0,088441105	1,919856912	0,195994973
Temperatura da água de reidratação (Q)	4,605388045	1	0,007029279	0,152589782	0,704265
Tempo de reidratação (L)	4,32195192	1	0,00553027	0,12004969	0,736160469
Tempo de reidratação (Q)	4,425438382	1	0,013341284	0,289609183	0,602242342
temp. de secagem x tempo de reidratação	4,29029801	1	0,010862033	0,235790241	0,637726436
Erro	4,248578786	10	0,046066509		
Total SQ	4,20596598	17			

Os valores estatisticamente significativos estão apresentados em vermelho.

O tempo de reidratação no intervalo utilizado e a temperatura da água de

reidratação não influenciaram de forma significativa na capacidade de reidratação dos cogumelos da espécie *P. ostreatus*. As superfícies de resposta do planejamento fatorialis  $3^{3-1}$ , estão dispostas nas Figuras 4.8 e 4.9.

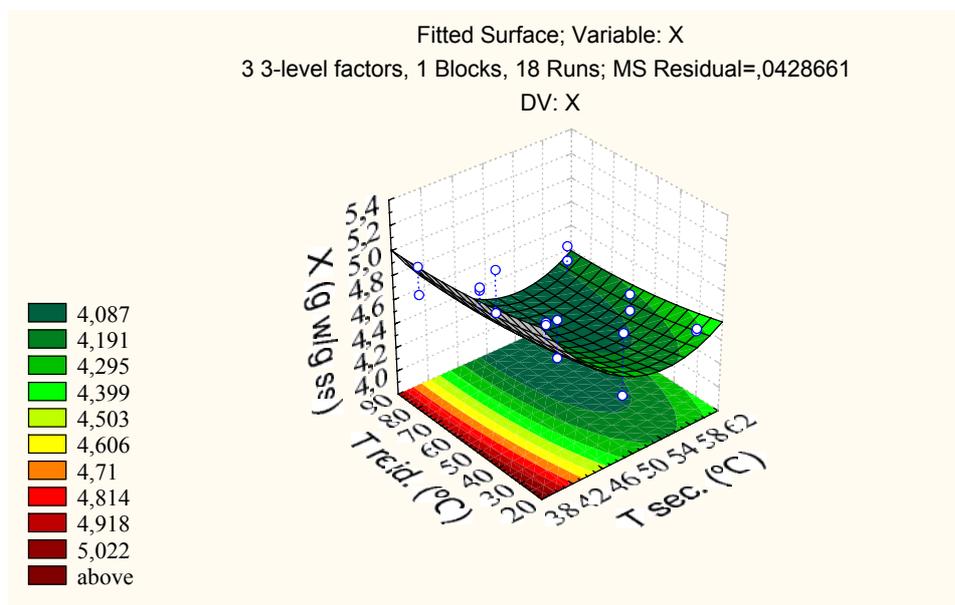


Figura 4.8 Superfície de resposta da capacidade de reidratação em função da temperatura da água de reidratação (°C) e da temperatura de secagem dos cogumelos (°C)

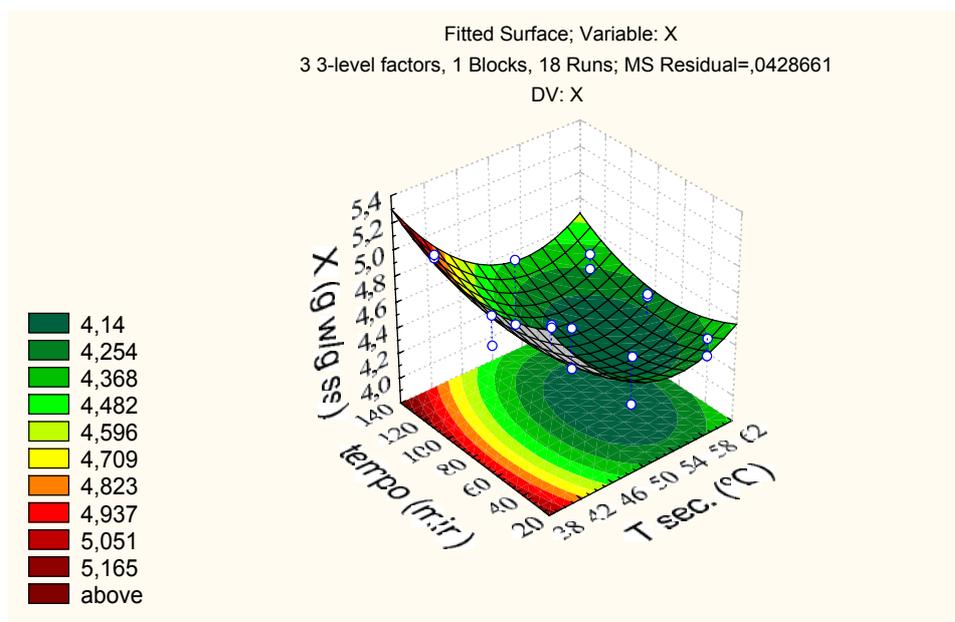


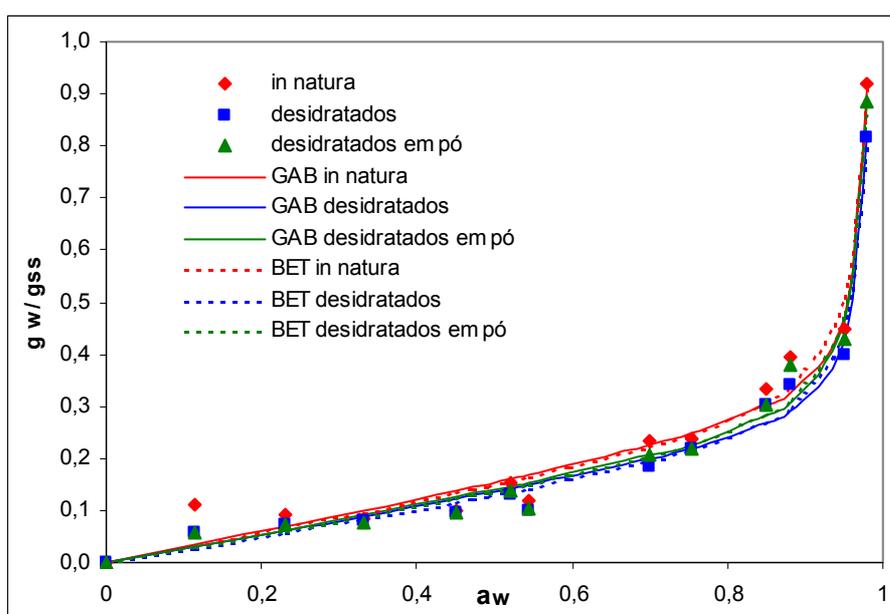
Figura 4.9 Superfície de resposta da capacidade de reidratação em função do tempo de reidratação (min) e da temperatura de secagem dos cogumelos (°C)

Como se pode observar, o incremento na temperatura de secagem influenciou

negativamente a capacidade de reidratação dos cogumelos da espécie *P. ostreatus* DSM 1833. Os maiores valores de reidratação ficaram no limite inferior do gráfico no eixo da temperatura de secagem, Figuras 4.8 e 4.9, não sendo significante a temperatura da água de reidratação ou o tempo em que os cogumelos ficaram imersos em água. Essa diminuição na capacidade de reidratação pode ser devido a maior deformação dos capilares da estrutura dos cogumelos, pois quando se aplica uma maior temperatura de secagem, aumenta-se a taxa de saída de água do material e conseqüentemente o material sofre maiores deformações da sua estrutura (FOUST et al., 1982).

### 4.3 Isotermas de sorção de umidade

As isotermas de sorção de umidade determinadas para os cogumelos da espécie *P. ostreatus*, “in natura”, desidratados e desidratados em pó, foram determinadas nas temperaturas de 30, 40 e 50°C, e estão representadas, respectivamente, nas Figuras 4.10, 4.11 e 4.12, com as umidades relativas do ambiente (dessecadores)



variando de 11,3 a 98%

Figura 4.10 Isotermas de sorção de umidade a 30°C para cogumelos da espécie *P. ostreatus* DSM 1833.

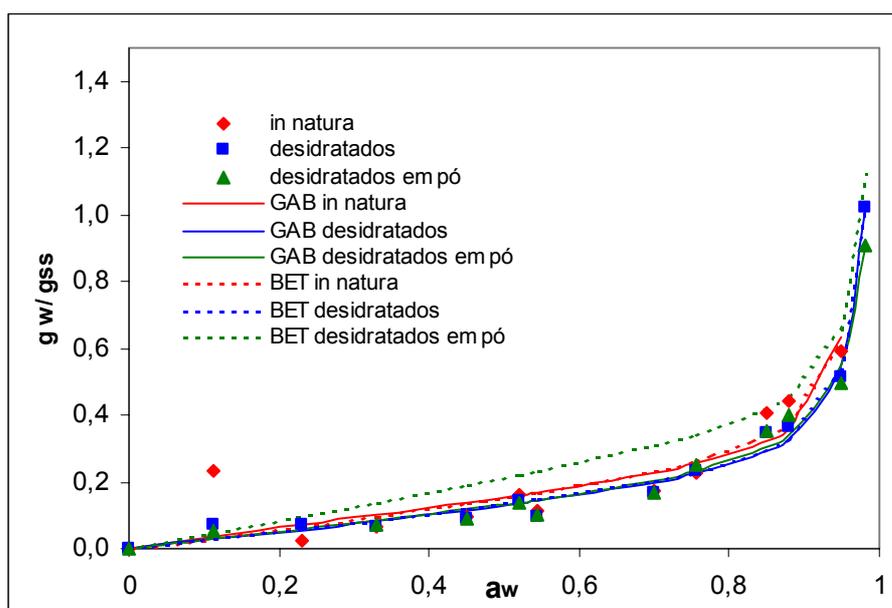


Figura 4.11 Isotermas de sorção de umidade a 40°C para cogumelos da espécie *P. ostreatus* DSM 1833.

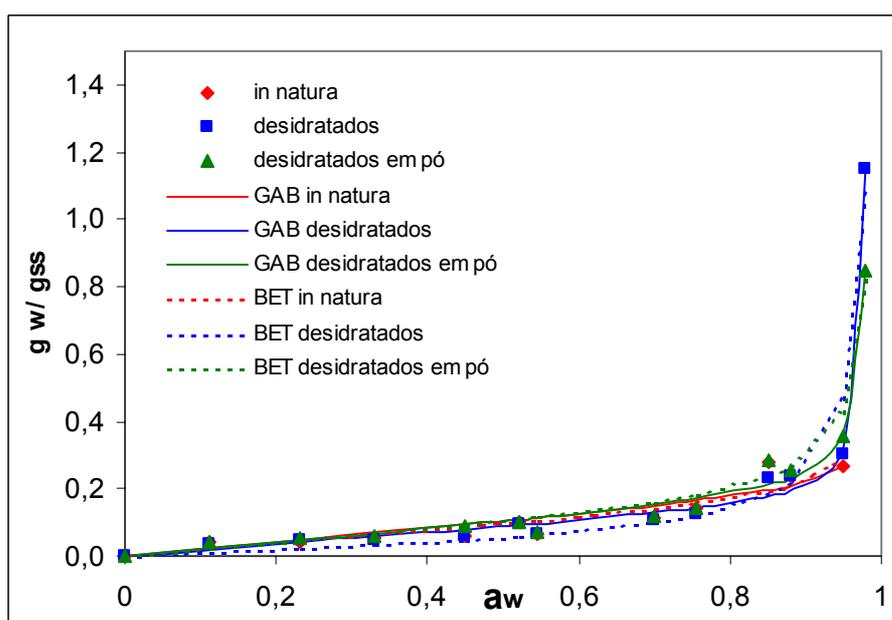


Figura 4.12 Isotermas de sorção de umidade a 50°C para cogumelos da espécie *P. ostreatus* DSM 1833.

As umidades de equilíbrio das amostras diminuiu com o aumento da temperatura, em todos os níveis de atividade de água. Isso acontece porque a energia cinética associada às moléculas de água presentes no alimento aumenta com o aumento da temperatura (SHIVHARE et al., 2004). Nas altas atividades de água esse fato já não pôde mais ser observado.

Com exceção de altas atividades de água, não há diferenças importantes entre os

teores de umidade de equilíbrio dos cogumelos “*in natura*”, desidratados e desidratados em pó.

Na Tabela 4.2 apresenta-se as constantes de BET e GAB para os experimentos e os coeficientes de correlação da equação com os valores experimentais.

Tabela 4.2 Constantes de GAB e BET para os modelos ajustados às curvas de sorção de umidade dos cogumelos

	Variável T (°C)	GAB				BET		
		Xm (gw/gss)	C	K	R	Xm (gw/gss)	C	R
Cogumelos “ <i>in natura</i> ”	30	0,1006	0,0305	1,0056	0,9877	0,1592	0,0456	0,9869
	40	0,1526	0,0444	1,0166	0,9971	0,2353	0,0675	0,9063
	50	0,1173	0,0244	0,9859	0,9264	0,1610	0,0312	0,9285
Cogumelos secos	30	0,1307	0,0341	1,0047	0,9921	0,1876	0,0468	0,9916
	40	0,3304	0,0796	0,9966	0,9937	0,2539	0,0641	0,9935
	50	0,2208	0,0374	1,0139	0,9967	2,4237	0,2263	0,9838
Cogumelos secos em pó	30	0,1507	0,0403	1,0033	0,9913	0,1955	0,0504	0,9910
	40	0,3711	0,0907	0,9884	0,9899	0,0904	0,0368	0,9587
	50	0,2189	0,0487	1,0077	0,9931	0,3172	0,0643	0,9796

Tanto o modelo de BET quanto o de GAB (Equações 2.2 e 2.3, página 17) representaram, com bons coeficientes de correlação, as isotermas de sorção para os cogumelos. A equivalência entre os dois modelos pode ser observada quando se leva em consideração os valores de K no modelo de GAB, que foram sempre muito próximos de 1.

BELARBI et al (2000), avaliando os parâmetros dos modelos de GAB e BET para isotermas de diversas espécies de tâmaras, reportou que em alguns casos o modelo de BET é tão bom quanto o modelo de GAB para representar o comportamento isotérmico.

## 4.4 Resfriamento a vácuo

### 4.4.1 Influência da taxa de redução de pressão (Y)

Na Figura 4.13 estão apresentadas as curvas de vácuo obtidas para cada uma das taxas de evacuação da câmara.

Foram calculadas duas taxas de evacuação, uma de 760 a 270 mmHg e outra de 270 mmHg até a pressão final atingida, representadas por Y1 e Y2, respectivamente.

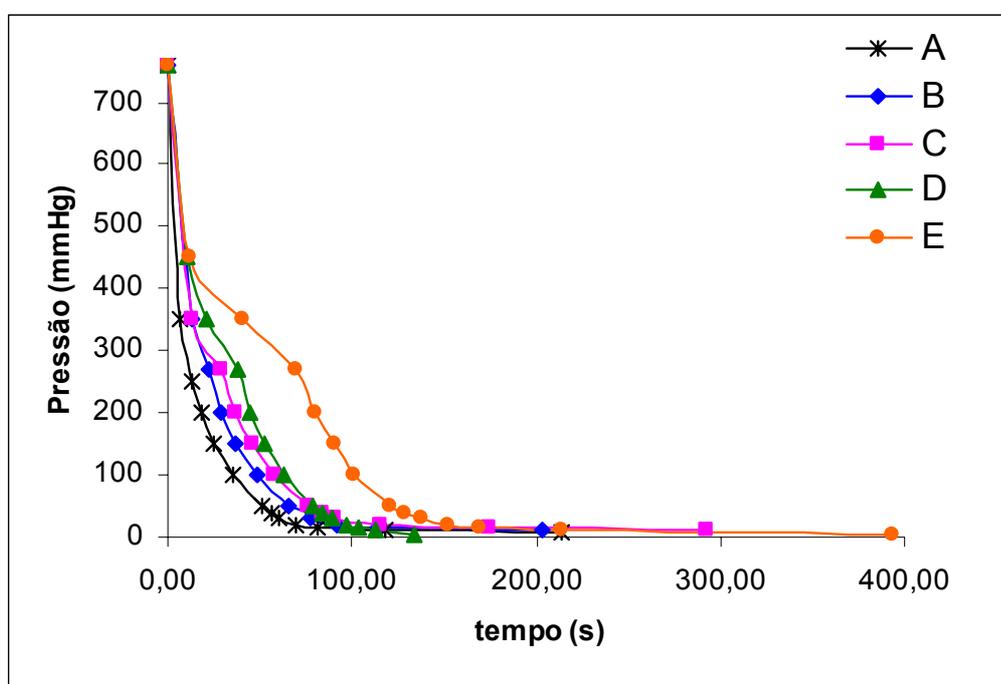


Figura 4.13 Curvas de vácuo obtidas pelas diferentes taxas de evacuação da câmara de resfriamento

Cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus* DSM 1833 foram resfriados em cada uma das condições de evacuação da câmara mostradas na Figura 4.13. Na Tabela 4.3 estão apresentados os resultados das perdas de massa experimentais e da redução média de temperatura por percentual de perda de massa obtidas nos experimentos.

Tabela 4.3 Perdas de massa e redução média de temperatura por percentual de perda de massa ( $\eta_T$ ) obtidas nos experimentos, para os diferentes valores de Y ( $s^{-1}$ ).

Exp.	$m_i$ (g)	$m_f$ (g)	Perda de massa (%)	$P_f$ (mmHg)	$T_{i\text{centro}}$ (°C)	$T_{f\text{centro}}$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\eta$ (°C/1%)
A1	19,894	18,992	4,53	7	20,79	3,51	17,28	3,81
A2	15,040	14,570	3,12	7	22,28	7,24	15,56	4,99
A3	10,024	9,574	4,49	7	19,15	6,34	12,81	2,85
A4	16,767	16,202	3,37	7	19,74	7,09	12,65	3,75
A5	13,339	12,850	3,52	7	20,79	6,64	14,15	4,02
B1	11,484	10,663	7,15	10	28,64	8,90	19,74	2,76
B2	13,108	12,212	6,68	10	28,04	10,41	17,63	2,64
B3	13,551	12,639	6,73	10	28,49	10,71	17,78	2,64
B4	10,598	9,772	7,79	10	28,04	9,81	18,23	2,34
C1	10,267	9,310	9,32	10	29,39	7,85	21,54	2,31
C2	12,946	12,501	3,44	10	26,68	8,60	18,08	5,25
C3	11,971	11,356	5,14	10	25,17	7,55	17,62	3,43
C4	11,107	10,448	5,93	10	22,46	4,08	18,38	3,10
D1	10,189	9,411	7,64	5	27,43	1,52	25,91	3,39
D2	9,792	9,016	7,92	5	24,12	2,43	21,69	2,73
D3	10,068	9,274	7,89	5	26,83	3,48	23,35	2,96
D4	9,968	9,260	7,10	5	23,82	1,97	21,85	3,08
D5	10,974	10,090	8,06	5	23,67	3,63	20,04	2,49
E1	19,697	18,398	6,59	5	23,97	2,12	21,85	3,31
E2	10,249	9,442	7,87	5	27,43	1,82	26,23	3,33
E3	10,911	10,089	7,53	5	24,42	1,97	22,45	2,98
E4	10,328	9,689	6,19	5	23,97	6,19	17,78	2,87
E5	9,550	8,819	7,65	5	25,93	1,67	24,26	3,17

Não foi possível constatar correlação entre os valores de  $Y$  (Tabela 3.3, página 36) e a perda de massa para as amostras de cogumelos. As curvas experimentais da evolução temporal das temperaturas das amostras estão apresentadas nas Figuras C.1, C.2, C.3, C.4, C.5, C.6, C.7, C.8 e C.9 (Apêndice C, páginas 69 a 77). Alguns autores encontraram correlação entre o valor de  $Y$  e a perda de massa e sugeriram que um menor valor de  $Y$  leva a uma menor perda de massa por se estar expondo a amostra por um menor tempo a pressões muito reduzidas (BROSNAN & SUN, 2003; MC DONALD & SUN, 2001b; HUBER, 2004).

Os cogumelos da espécie *P. ostreatus* têm alto teor de umidade e alta porosidade. Sendo assim, as condições de cultivo e o tempo de exposição ao ambiente após a colheita podem influenciar significativamente no teor de umidade dos mesmos. Como o cultivo

dos cogumelos foi feito na UNIVILLE (Joinville) e os experimentos de resfriamento a vácuo foram realizados na UFSC (Florianópolis), os cogumelos não eram resfriados imediatamente depois de colhidos (os cogumelos eram colhidos por dois a três dias, acondicionados em bandejas de polipropileno cobertos com filme plástico para alimentos e colocados na geladeira, até serem transportados, em caixa de “isopor”, ao Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos - UFSC) o que pode ter influenciado nos resultados.

#### 4.4.2 Influência da aspersão de água

Comparando os resultados dos experimentos com e sem aspersão de água observou-se diferença significativa quando aplicado o teste de Tukey com 95% de confiança. A Tabela 4.4 apresenta os resultados experimentais do resfriamento a vácuo de cogumelos da espécie *P. ostreatus* aspergidos com água antes do resfriamento.

Tabela 4.4 Perdas de massa e redução média de temperatura por percentual de perda de massa ( $\eta_T$ ) obtidas nos experimentos com aspersão de água, para os diferentes valores de  $Y$  ( $s^{-1}$ ).

Exp.	$m_i$ (g)	$m_a$ (g)	$m_f$ (g)	PM efetiva (%)	PM no dessecador (%)	$P_f$ (mmHg)	$T_{i\text{centro}}$ (°C)	$T_{f\text{centro}}$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$\eta$ (°C/1%)
------	-----------	-----------	-----------	----------------	----------------------	--------------	---------------------------	---------------------------	-----------------	----------------

Aa1	16,630	17,100	16,686	-0,34	2,42	7	23,97	6,19	17,78	7,34
Aa2	25,955	26,584	25,908	0,18	2,55	7	22,31	7,1	15,21	5,96
Aa3	10,145	11,220	10,634	-4,82	5,22	7	22,19	1,94	20,16	3,96
Aa4	11,049	12,224	11,600	-4,99	5,10	7	21,74	2,24	19,50	3,82
Ca1	11,477	12,089	11,150	2,85	7,77	5	25,78	0,47	25,31	3,25
Ca2	10,222	11,067	10,249	-0,22	7,39	5	22,31	1,52	20,79	2,81
Ca3	9,893	10,310	9,720	1,74	5,72	5	21,41	0,92	20,49	3,58
Ca4	10,940	11,653	10,874	0,60	6,68	5	22,61	1,22	21,39	3,20
Ca5	11,882	12,404	11,521	3,04	7,12	5	26,98	1,07	25,91	3,64
Da1	11,671	12,548	11,610	0,52	7,48	5	25,78	1,22	24,56	3,28
Da2	11,593	12,248	11,374	1,89	7,14	5	24,42	1,22	23,20	3,25
Da3	10,648	11,831	10,950	-2,84	7,45	5	26,98	2,58	24,40	3,28
Da4	10,756	11,488	10,507	2,31	8,54	5	27,89	2,43	25,46	2,98
Da5	8,377	9,036	8,245	1,58	8,75	5	26,68	0,32	26,36	3,01
Ea1	10,619	11,552	10,770	-1,42	6,77	5	25,78	2,58	23,20	3,43
Ea2	12,313	13,457	12,529	-0,13	6,90	5	24,57	2,88	21,69	3,14
Ea3	12,149	12,793	11,915	1,93	6,86	5	25,78	3,03	22,75	3,31
Ea4	13,008	13,991	12,987	0,16	7,18	5	25,48	2,73	22,75	3,17
Ea5	10,205	11,091	10,274	-0,68	7,37	5	22,61	0,32	22,29	3,02

Quando foi aspergida água nos cogumelos antes do resfriamento, os mesmos tiveram perdas efetivas de massa próximas de zero, e em alguns casos chegaram até mesmo a ter um pequeno incremento na massa. Isso ocorreu devido à alta porosidade dos cogumelos desse gênero e à sua facilidade em absorver a água que foi aspergida. Outros trabalhos onde a aspensão de água foi utilizada relatam resultados semelhantes. BROSANAN & SUN (2001) reduziram a perda de massa de 5,4% para 0% ao borrifar água em lírios antes do resfriamento a vácuo. MC DONALD & SUN (2000) citam a possibilidade de aspergir água antes do resfriamento de vegetais e frutas para reduzir a perda de massa. Estudos com carnes e pratos prontos, que utilizam molhos e salmouras para minimizar a perda efetiva de massa provocada pelo processo são relatados em outros trabalhos (SELF et al., 1990; SUN & WANG, 2000 e 2004; MC DONALD et al., 2000; WANG & SUN, 2002).

#### 4.4.3 Determinação do calor específico ( $c_p$ ) dos cogumelos

O calor específico ( $c_p$ ) dos cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus* determinado pelo método do calorímetro de mistura foi de  $3,955 \text{ kJ.kg}^{-1}\text{C}^{-1}$ , muito semelhante ao resultado obtido por SHIRIVASTAVA & DATTA (1999) que chegaram a um valor de  $3,935 \text{ kJ.kg}^{-1}\text{C}^{-1}$  para *Pleurotus florida* e também ao valor de  $3,920 \text{ kJ.kg}^{-1}\text{C}^{-1}$  obtido pela Equação 3.6 (página 37) proposta por SINGH & HELDMAN (1993).

#### 4.4.4 Simulação da evolução temporal da massa dos cogumelos

Utilizando-se o algoritmo apresentado na sessão 3.3.3 (Figura 3.6) chegou-se aos resultados que estão apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 Massa real e simulada de cogumelos da espécie *P. ostreatus* resfriados a vácuo.

Exp.	$M_i$ (g)	$M_f$ experimental (g)	$M_f$ simulada (g)	Erro (%)	$\eta$ (°C/1%)
A	15,009	14,438	14,681	1,62	3,88
B	12,185	11,322	11,849	4,32	2,60
C	11,653	11,074	11,337	2,25	3,52
D	10,198	9,410	9,854	4,35	2,93
E	12,143	11,287	11,732	3,66	3,13

O erro (%) foi calculado pela Equação 4.7.

$$\frac{(m_{f \text{ experimental}} - m_{f \text{ simulada}})}{m_{f \text{ experimental}}} \times 100 [\%] \quad (4.7)$$

Como pode ser observado, o algoritmo proposto é confiável para simular a variação temporal da massa nos experimentos de resfriamento a vácuo de cogumelos, pois o erro obtido entre as massas reais e simuladas foi sempre inferior a 5%. Assim sendo, esse algoritmo pode ser utilizado com boa exatidão para prever a massa final que será obtida ao resfriar a vácuo cogumelos desse gênero. O mesmo algoritmo foi utilizado por HUBBER (2004) para prever a massa final de cortes de peito de frango cozidos, tendo

obtido resultados com erros menores do que 1%.

## Conclusões

A melhor temperatura para desidratar os cogumelos do gênero *Pleurotus ostreatus* é 40°C, levando em consideração a melhor capacidade de reidratação dos cogumelos desidratados nesta temperatura. No entanto, o tempo de secagem é aproximadamente duas vezes superior, se comparado à secagem realizada a 60°C e UR = 75%. Estudos complementares devem ser realizados, reduzindo-se a umidade relativa do ar, visando diminuir o tempo de secagem.

É possível reidratar completamente os cogumelos por imersão em água a temperatura ambiente, por um período de 30 minutos.

Tanto o modelo de GAB quanto o de BET ajustaram com bons coeficientes de correlação os dados experimentais de sorção de umidade dos cogumelos “in natura” e desidratados.

Nos experimentos de resfriamento a vácuo não foi possível identificar uma correlação entre a taxa de evacuação da câmara e a perda de massa dos cogumelos durante o resfriamento. Porém, foi constatado que a aspersão de água nos cogumelos antes do resfriamento diminuiu significativamente a perda efetiva de massa, que é um dos maiores problemas do resfriamento a vácuo.

O presente trabalho gerou conhecimentos básicos para dois métodos de conservação dos cogumelos da espécie *Pleurotus ostreatus* e mostrou a viabilidade técnica de aplicação desses dois métodos. A redução da atividade de água por secagem em estufa e o resfriamento a vácuo são operações simples e que exigem pequenos investimentos para suas implantações. Deste modo, os resultados obtidos poderão ser úteis para a

implantação de unidades comerciais de pequeno porte, de cultivo e conservação dos referidos cogumelos.

## Perspectivas para trabalhos futuros

Avaliar a vida de prateleira dos cogumelos resfriados a vácuo e desidratados.

Resfriar a vácuo os cogumelos recém colhidos a diferentes taxas de redução de pressão, para verificar se há influência desse parâmetro na perda de massa.

Testar a secagem por microondas e a secagem convencional seguida do uso de microondas na fase final do processo para desidratar cogumelos da espécie *P. ostreatus*.

Avaliar a capacidade de reidratação dos cogumelos utilizando vinhos ou conhaques em diferentes concentrações na água de imersão.

## Referências Bibliográficas

ARORA, S.; SHIVHARE, U.S.; AHMED, J.; RAGHAVAN, G.S.V. Drying kinetics of *Agaricus bisporus* and *Pleurotus florida* mushrooms. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 46, 721-724, 2003.

ARTÉS, F.; MARTÍNEZ, J. A. Influence of packaging treatments on the keeping quality of 'Salinas' lettuce. **Lebensmittel – Wissenschaft und – Technologie**, 29, 664-668, 1996.

BENNETT, C.O. **Fenômenos de transporte de quantidade de movimento, calor e massa**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

BELARBI, A.; AYMARD, Ch.; MEOT, J.M.; THEMELIN, A; REYNES, M. Water desorption isotherms for eleven varieties os dates. **Journal of Food Engineering**, v. 43, 103-107, 2000.

BISARIA, R.; MADAN, M. Mushrooms: potential protein source from cellulosic residues. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 5, 251-259, 1983.

BONATTI, M. **Estudo do potencial nutricional de cogumelos do gênero *Pleurotus* cultivados em resíduos agro-industriais**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

BONONI, V.L.; CAPELARI, M.; MAZIERO, R.; TRUFEM, S.F.B. **Cultivo de cogumelos comestíveis**. São Paulo: Ícone, 1995.

BROSNAN, T; SUN, D.W. Compensation or water loss in vacuum-precooled cut lily flowers. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 79, n. 3, 299-305, 2001.

BROSNAN, T; SUN, D.W. Influence of modulated vacuum cooling on the cooling rate, mass loss and vase life of cut flowers. **Biosystems Engineering**, v. 86, n. 1, 45-49, 2003.

BURTON, K.S.; FROST, C.E.; ATKEY, P.T. Effect of vacuum cooling on mushroom browning. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 22, 599-606, 1987.

CAO, W.; NISHIYAMA, Y.; KOIDE, S. Thin-layer drying of Maitake Mushroom analysed with a simplified model. **Biosystems Engineering**, v. 85, 331-337, 2003.

CHANG, S.T. & MILES, P.G. Mushrooms: Trends in production and technological development. **Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 41-42, 73-81, 1993.

CHANG, S.T. & QUIMIO, T.H. **Tropical Mushrooms**. Hong Kong: The Chinese Univ. Press, 1984.

CHANG, S.T.; HAYES, W.A. **The biology and cultivation of edible mushrooms**. Academic Press, INC. 1978.

COHEN, R.; PERSKY, L.; HADAR, Y. Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. **Applied Microbiology & Biotechnology**. V. 58, 582-594, 2002.

DA COSTA, J.M.C.; DE MEDEIROS, M.de F.D.; DA MATA, A.L.M.L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucúrbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, 5-9, 2003.

DESMOND, E. M.; KENNY, T. A.; WARD, P. The effect of injection level and cooling method on the quality of cooked ham joints. **Meat Science**, v. 60, 271-277, 2002.

DESMOND, E. M.; KENNY, T. A.; WARD, P.; SUN, D-W. Effect of rapid and conventional cooling methods on the quality of cooked ham joints. **Meat Science**, v. 56, 271-277, 2000.

DOSTÁL, M.; KÝHOS, K.; HOUSKA, M.; GRÉE, R. Vacuum cooling of solid foods. **Czech Journal of Food Science**. v. 17, 103-112, 1999.

FOUST, A.S.; WENZEL, L.A.; CLUMP, C.W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L.B. **Princípio das operações unitárias**. Rio de Janeiro: Editora AS, 2ª ed., 1982.

FUNEBO, T.; OHLSSON, T. Microwave-assisted Air Dehydration of Apple and Mushroom. **Journal of Food Engineering**, v. 38, 353-367, 1998.

GEANKOPLIS, M.R.A. **Transport processes and unit operations**. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1993.

GEORGE, J.P.; DATTA, A.K. Development and Validation of Heat and Mass Transfer Models for Freeze-Drying of Vegetable Slices. **Journal of Food Engineering**, v. 52, 189-93, 2002.

HAAS, E.; GUR, G. Factors affecting the cooling rate of lettuce in vacuum cooling installations. **International Journal of Refrigeration**, v. 10, 82-86, 1987.

HE, S.Y.; FENG, G.P.; YANG, H.S.; WU, Y.; LI, Y.F. Effects of pressure reduction rate on quality and ultrastructure of iceberg lettuce after vacuum cooling and storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 33, 263-273, 2004.

HOUSKA, M.; PODLOUCKÝ, S.; ŽITNÝ, R.; GRÉE, R.; ŠESTÁK, J.; DOSTÁL, M.; BURFOOT, D. Mathematical model of vacuum cooling of liquids. **Journal of food Food Engineering**, v. 29, 339-348, 1996.

HOUSKA, M.; SUN, D.W.; LANDFELD, A.; ZHANG, Z. Experimental study of vacuum cooling of cooked beef in soup. **Journal of Food Engineering**, v. 59, 105-110, 2003.

HUBER, E. **Resfriamento a vácuo de cortes de carnes após o cozimento**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

HUBER, E.; LAURINDO, J.B. Vacuum cooling of cooked mussel (*Perna perna*). **Food Science and Technology International**, 2004, in print.

HUBER, E.; SOARES, L.P.; LAURINDO, J.B. Resfriamento a vácuo de mexilhões pré-cozidos para produção em pequena escala. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara-SP, v.14, n. 2, 175-183, 2003.

JWANNY, E.W.; RASHAD, M.M.; ABDU, H.M. Solid-state fermentation of agricultural wastes into food through *Pleurotus* cultivation. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 50, 1995.

KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 59, 391-403, 2003.

LEWICKI P.P.; JAKUBCZYK, E. Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. **Journal of Food Engineering**, v. 64, 307-314, 2004.

LEWICKI P.P.; LE, H.V.; POMARARÍSKA-LAZUKA, W. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 54, 141-146, 2002.

LEWICKI, P.P. Some Remarks on Rehydration of Dried Foods. **Journal of Food Engineering**, v. 36, 81-87, 1998.

LUKASSE, L.J.S.; POLDERDIJK, J.J. Predictive modelling of post-harvest quality evolution in perishables, applied to mushrooms. **Journal of Food Engineering**, v. 59, 191-198, 2003.

MARTÍNEZ, J. A.; ARTÉS, F. Effect of packaging treatments and vacuum-cooling on quality of winter harvested iceberg lettuce. **Food Research International**, v. 32, 621-627, 1999.

MARTÍNEZ-SOTO, G.; OCANÁ-CAMACHO, R.; PAREDES-LÓPEZ. Effect of pretreatment and drying on the quality of oyster mushroom (*Pleurotus osteratus*). **Drying Technology**, v. 19, 661-672, 2001.

MASKAN, M. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**, v. 48, 177-182, 2001.

MASKAN, M. Microwave, air and microwave finish drying of banana **Journal of Food Engineering**, v. 44, 71-78, 2000.

MC DONALD, K.; & SUN, D-W. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 45, 55-65, 2000.

MC DONALD, K.; SUN, D-W. Effect of evacuation rate on the vacuum cooling process of a cooked beef product. **Journal of Food Engineering**, v. 48, 195-202, 2001a.

MC DONALD, K.; SUN, D-W; KENNY, T. Comparison of the quality of cooked beef products cooled by vacuum cooling and by conventional cooling. **Lebensmittel – Wissenschaft und – Technologie**, v. 33, 21-29, 2000.

MC DONALD, K.;SUN, D-W. The formation of pores and their effects in a cooked beef product on the efficiency of vacuum cooling. **Journal of Food Engineering**, v. 47, 175-183, 2001b.

MILES, P.G.; CHANG, S.T. Fruiting of *Lentinus edodes* (Shiitake) in liquid media. **MIRCEN Journal**, v. 3, 103-112, 1987.

MOLENA, O. **O moderno cultivo de cogumelos**. São Paulo: Nobel, 1986.

PABIS, S. The Initial Phase of Convection Drying of Vegetables and Mushrooms and the Effect of Shrinkage. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 72, 187-195, 1999.

PAL, U.S.; CHAKRAVERTY A. Thin Layer Convection-Drying of Mushrooms. **Energy Conversion and Management**, v. 38 (2), 107-113, 1997.

RAJARATHNAM, S.; SHASHIREKA, M.; BANO, Z. Biodegradative and Biosynthetic Capacities of Mushrooms: Present and Future Strategies. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 18, 91-236, 1998.

RAJARATHNAM, S.; SHASHIREKA, M.; BANO, Z. Biopotentialities of the basidomacromycetes. In: **Advantages in Applied Microbiology**. Índia: Academic Press, v. 37, 233-261, 1992.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**. v. 49, 311-319, 2001.

RIZVI, S.S.H. Thermodynamics of food in dehydration. In RAO, M.A; RIZVI, S.S.H. **Engeneering properties of foods**. New York: Marcel Dekker. 1986.

SANTOS, V.M.C.S. **Contribuição ao estudo da produção de *Pleurotus spp.* Em resíduos lignocelulósicos**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SELF, K. P.; NUTE, G. R.; BURFOOT, D.; MONCRIEFF, C. B. Effect of pressure cooking and pressure rate change during cooling in vacuum on chicken breast quality and yield. **Journal of Food Science**, v. 55, 1531-1535, 1551, 1990.

SHIVHARE, U.S.; ARORA, S.; AHMED, J.; RAGHAVAN, G.S.V. Moisture Adsorption Isotherms for Mushroom. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie**, v. 37, 133-137 2004.

SHRIVASTAVA, M.; DATTA, A.K. Determination of specific heat and thermal conductivity of mushrooms (*Pleurotus florida*). **Journal of Food Engineering**, v. 39, 255-260, 1999.

SILVEIRA, M.L.L. **Comparação entre o desempenho do inoculo sólido e inoculo líquido para o cultivo de *Pleurotus ostreatus* DSM 1833**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. Introduction to Food Engineering. 3<sup>rd</sup> edition. Academic Press, London, UK, 1993.

STAMETS, P. & CHILTON, J.S. The mushroom cultivator. **Olympia, Agarickon Press**, 1996.

STURION, G.L. **Utilização de folha de bananeira como substrato para cultivo de cogumelos comestíveis (*Pleurotus spp*)**. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

SUN, D.W.; BROSNAN, T. Extension of the vase life of cut daffodil flowers by rapid vacuum cooling. **International Journal of Refrigeration**, v. 22, 472-478, 1999.

SUN, D.W.; WANG, L. Experimental investigation of performance of vacuum cooling for commercial large cooked meat joints. **Journal of Food Engineering**, v. 61, 527-532, 2004.

SUN, D-W.; WANG, L. Heat transfer characteristics of cooked meats using different cooling methods. **International Journal of Refrigeration**, v. 23, 508-516, 2000.

THOMAS, G.V.; PRABHU, S.R.; REENY, M.Z.; BOPAIAH, B.M. Evaluation of lignocellulosic biomass from coconut palm as substrat for cultivation of *Pleurotus sajor-*

*caju* (Fr.) Singer. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 14, 879-882, 1998.

TIMMERMANN, E.O.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H.A. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? **Journal of Food Engineering**, v. 48, 19-31, 2001.

VILLAESCUSA, R.; GIL, M.I. Quality improvement of *Pleurotus* mushrooms by modified atmosphere packaging and moisture absorbers. **Postharvest Biology and Technology**, v. 28, 169-179, 2003.

WANG, L.; SUN, D-W. Effect of operating conditions of a vacuum cooler on cooling performance for large cooked meat joints. **Journal of Food Engineering**, v. 61, 231-240, 2004.

WANG, L.; SUN, D-W. Modelling vacuum cooling process of cooked meat – part 1: analysis of vacuum cooling system. **International Journal of Refrigeration**, v. 25, 854-861, 2002.

WANG, L.; SUN, D-W. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology. **Trends in Food Science & Technology**, v. 12, 174-184, 2001.

ZADRAZIL, F.; KURTZMAN, R.H. The biology of *Pleurotus* cultivation in the tropics. In: CHANG, S.T.; QUIMIO, T.H. **tropical mushrooms**. Hong Kong, The Chinese Univ. Press., 1984.

## Apêndice A

### Curvas de secagem

Nas Figuras A.1, A.2 e A.3 estão apresentadas as curvas de secagem de *Pleurotus ostreatus*, obtidas experimentalmente a 60, 50 e 40°C, respectivamente. As curvas médias de secagem nas três temperaturas avaliadas, com os respectivos desvios-padrão estão apresentadas na Figura 4.1, na página 38.

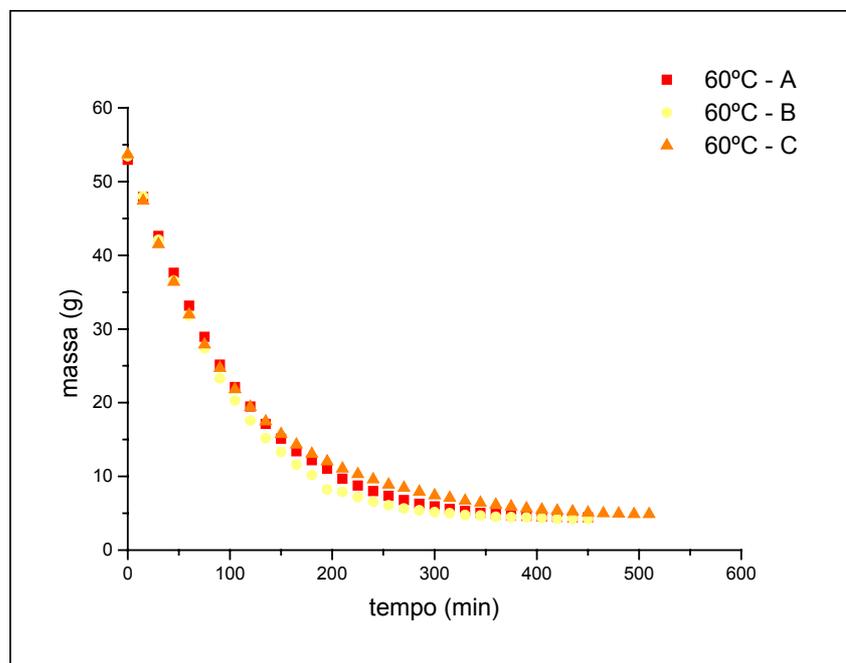


Figura A.1 Curvas de secagem de *Pleurotus ostreatus* experimentais a 60°C

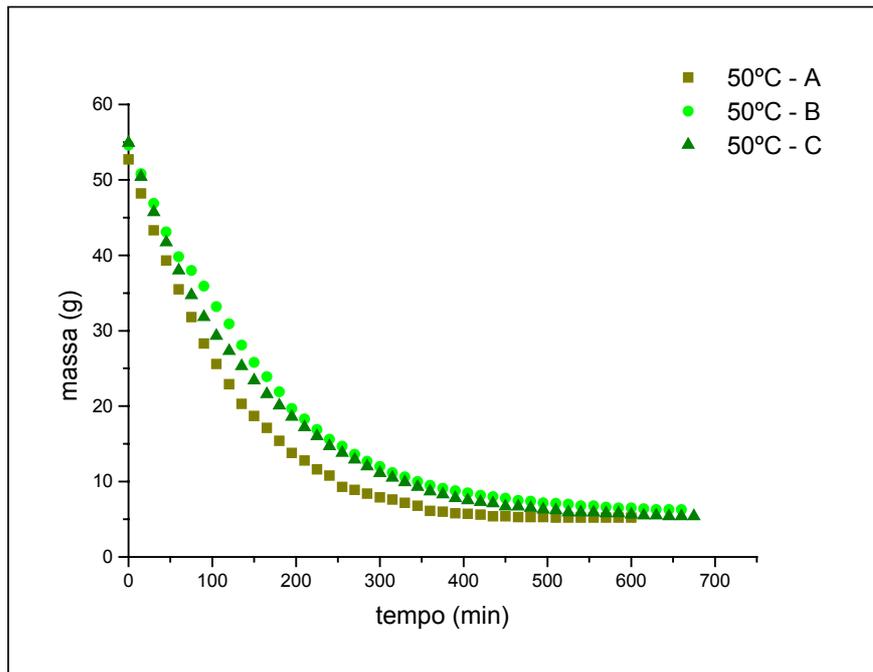


Figura A.2 Curvas de secagem de *Pleurotus ostreatus* experimentais a 50°C

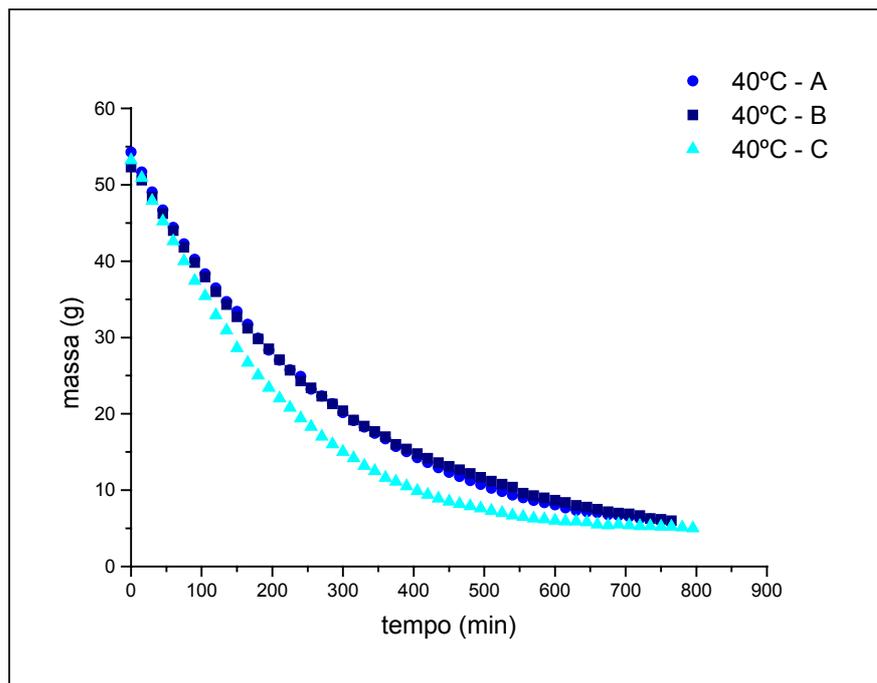
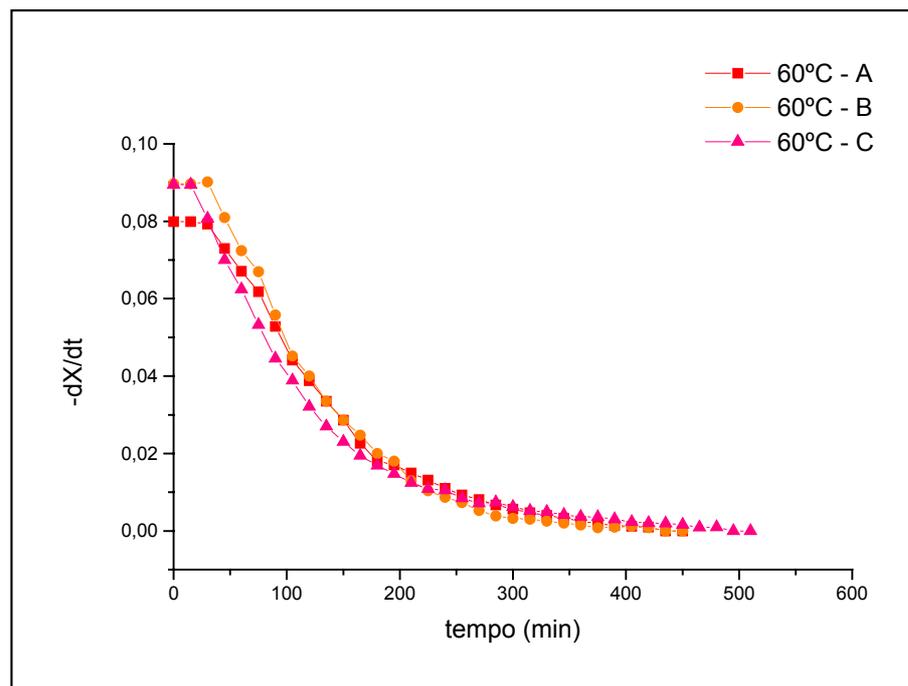


Figura A.3 Curvas de secagem de *Pleurotus ostreatus* experimentais a 40°C

## Apêndice B

### Taxas de secagem

As taxas de secagem obtidas através da derivação dos dados experimentais ajustadas, utilizando-se o método de Le Duy & Zargic estão apresentadas nas Figuras B.1, B.2 e B.3. Na página 39, Figura 4.2 estão apresentadas as taxas de secagem



em diferentes temperaturas.

Figura B.1 Taxas de secagem de *Pleurotus ostreatus* a 60°C.

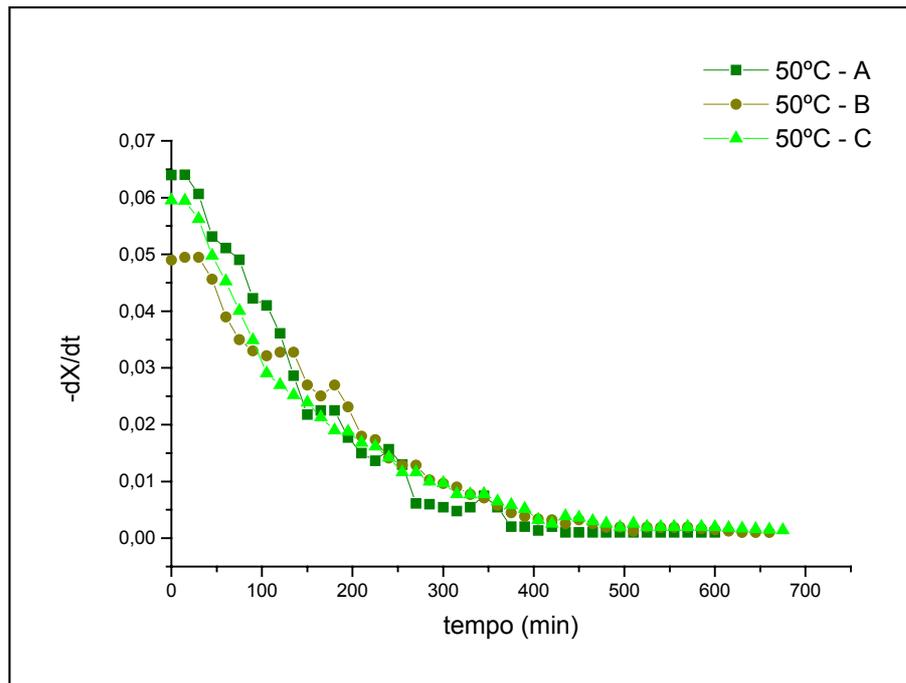


Figura B.2 Taxas de secagem de *Pleurotus ostreatus* a 50°C.

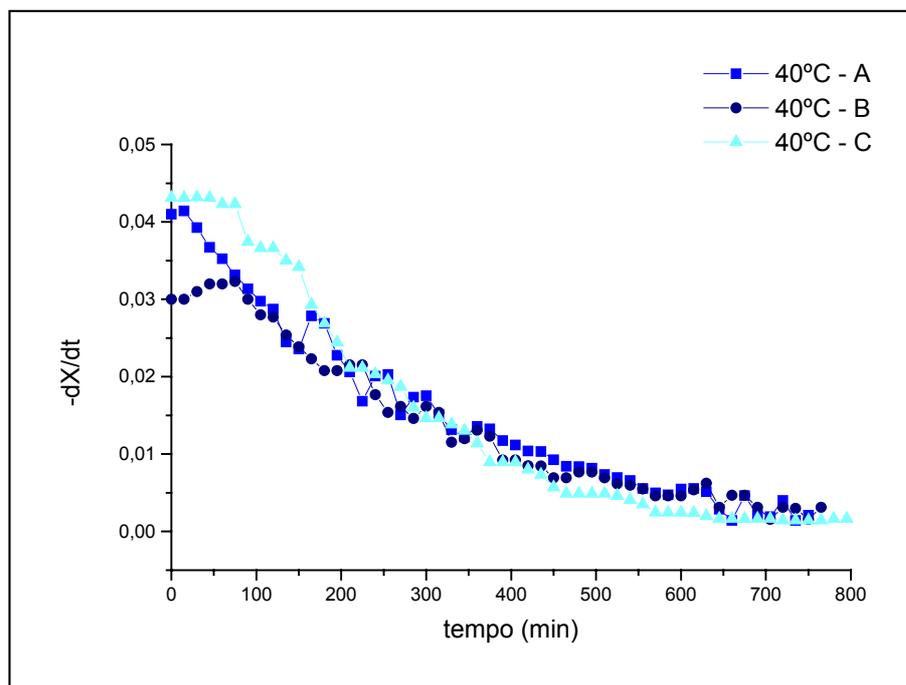


Figura B.3 Taxas de secagem de *Pleurotus ostreatus* a 40°C.

## Apêndice C

### Curvas de resfriamento a vácuo

As curvas experimentais de resfriamento a vácuo de *Pleurotus ostreatus*, estão apresentadas nas Figuras C.1, C.2, C.3, C.4 e C.5, e as curvas de resfriamento a vácuo dos experimentos com aspersão de água nos cogumelos antes de serem submetidos ao resfriamento estão apresentadas nas Figuras C.6, C.7, C.8 e C.9.

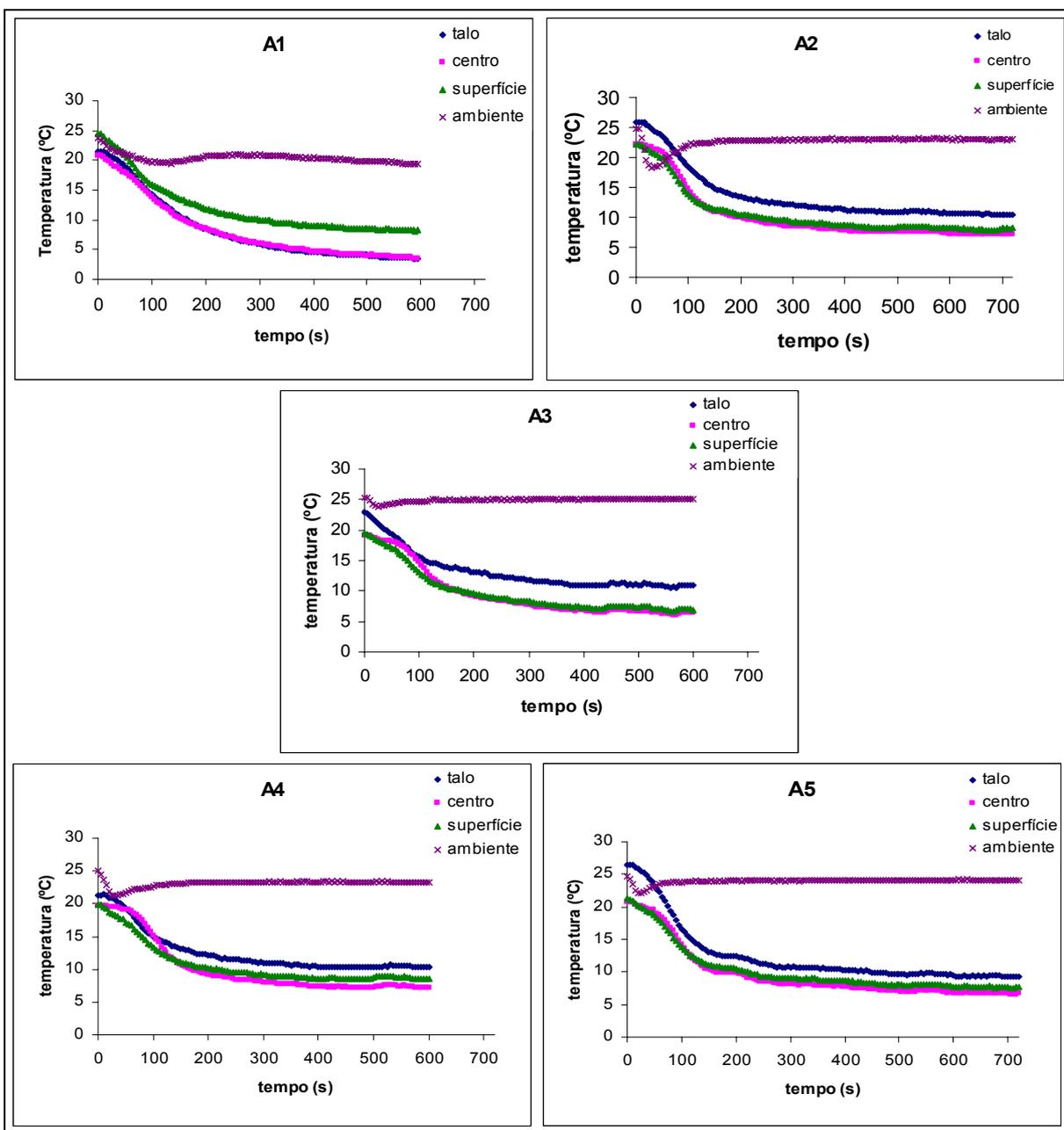


Figura C.1 Curvas de resfriamento a vácuo de *Pleurotus ostreatus* - experimento A com 5 repetições.  $P_f = 7$  mmHg.

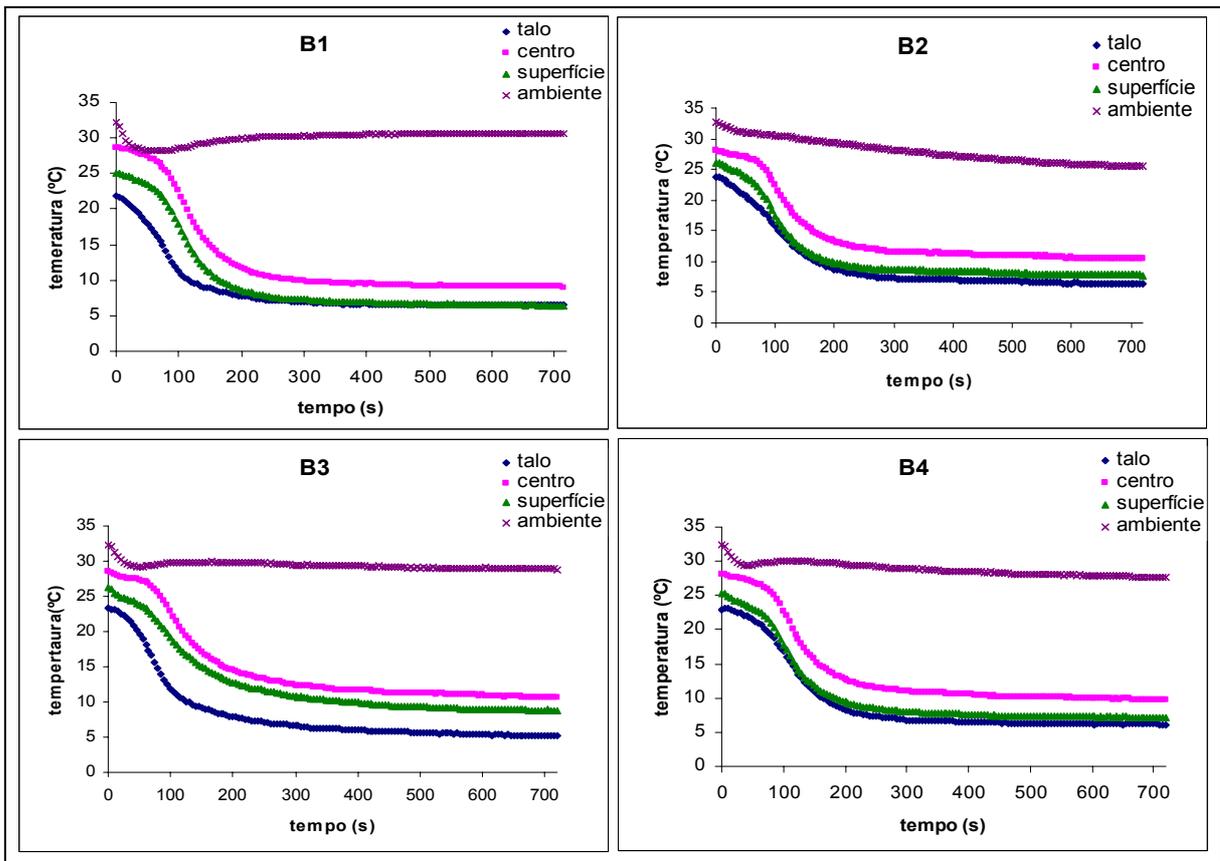


Figura C.2 Curvas de resfriamento a vácuo de *Pleurotus ostreatus* - experimento B com 4 repetições.  $P_r = 10$  mmHg.

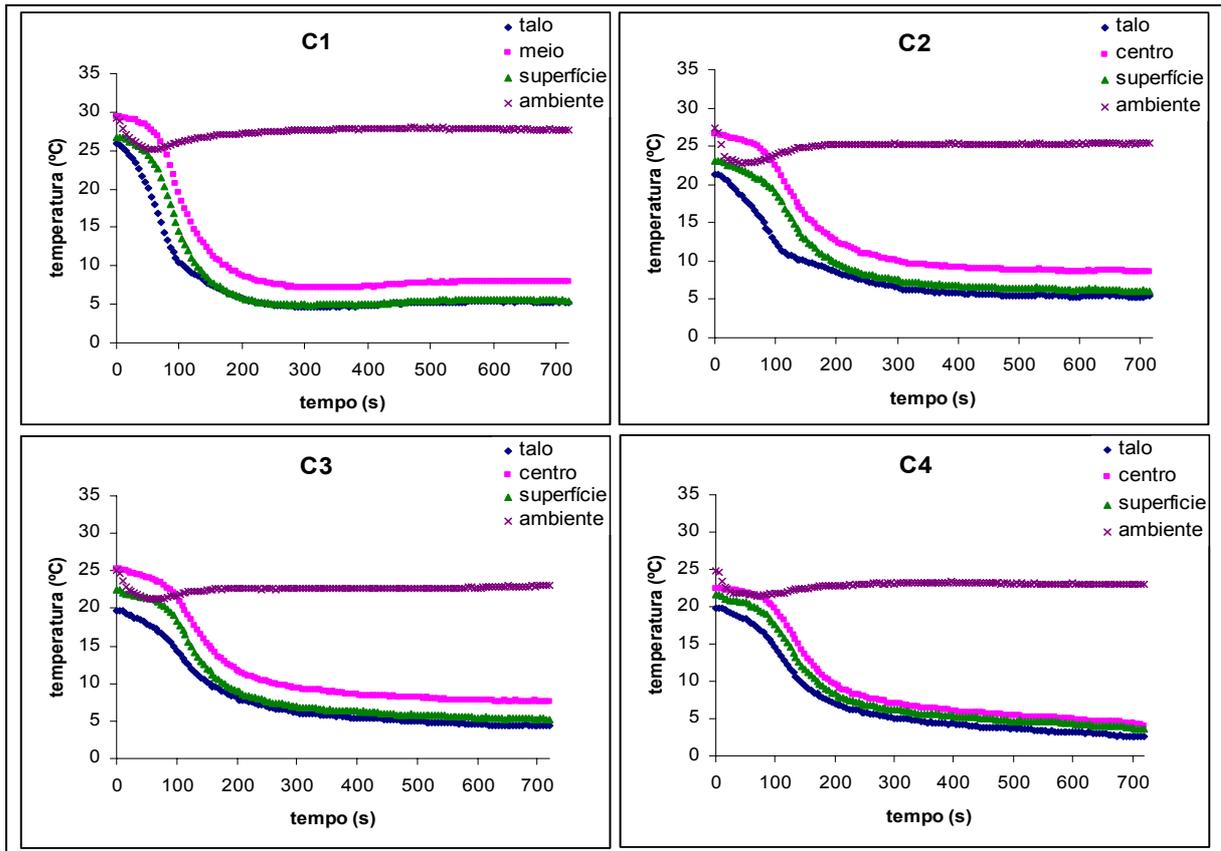


Figura C.3 Curvas de resfriamento a vácuo de *Pleurotus ostreatus* - experimento C com 4 repetições.  $P_f = 10$  mmHg.

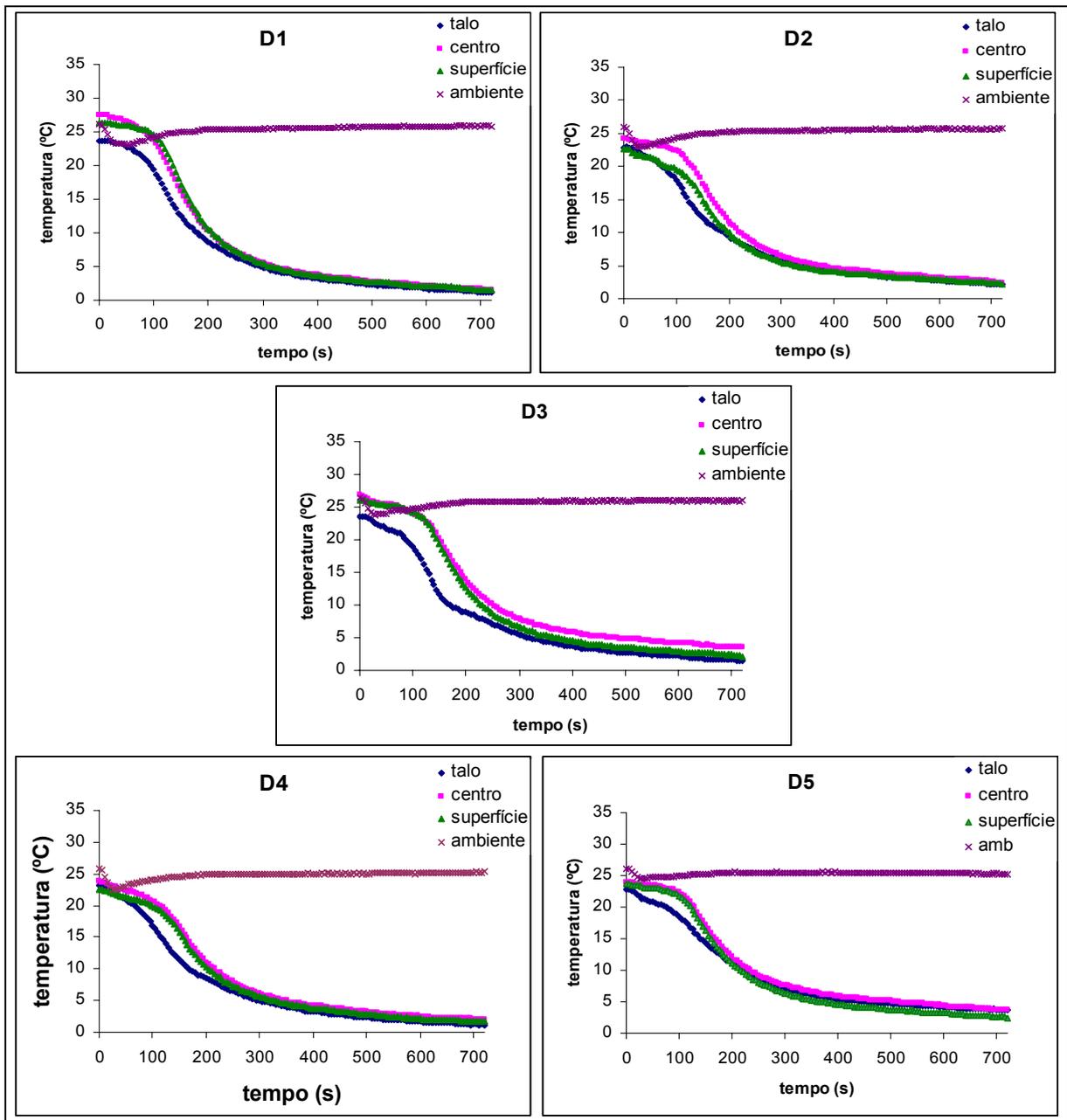


Figura C.4 Curvas de resfriamento a vácuo de *Pleurotus ostreatus* - experimento D com 5 repetições.  $P_f = 5$  mmHg.

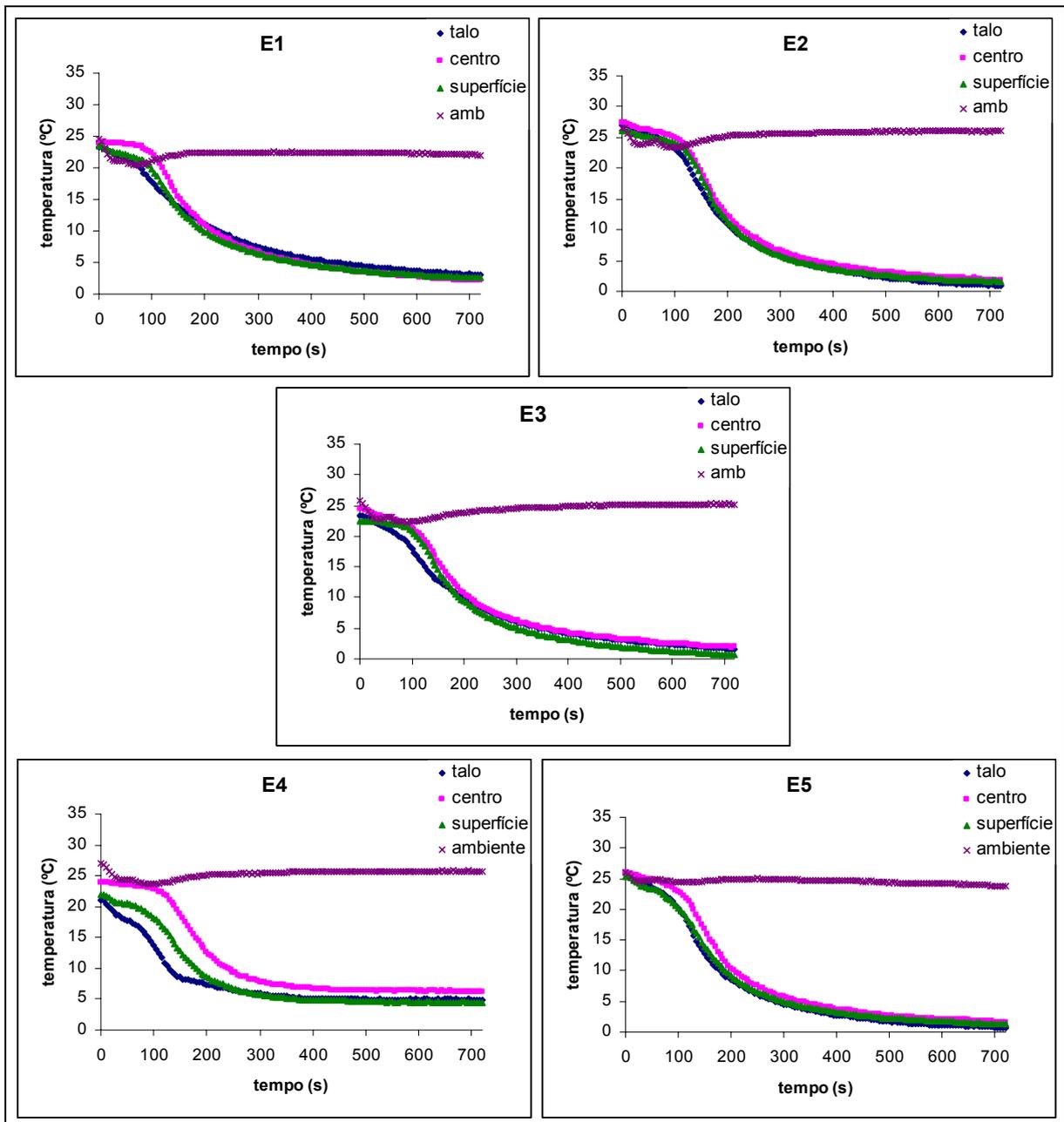


Figura C.5 Curvas de resfriamento a vácuo de *Pleurotus ostreatus* - experimento E com 5 repetições.  $P_f = 5$  mmHg.

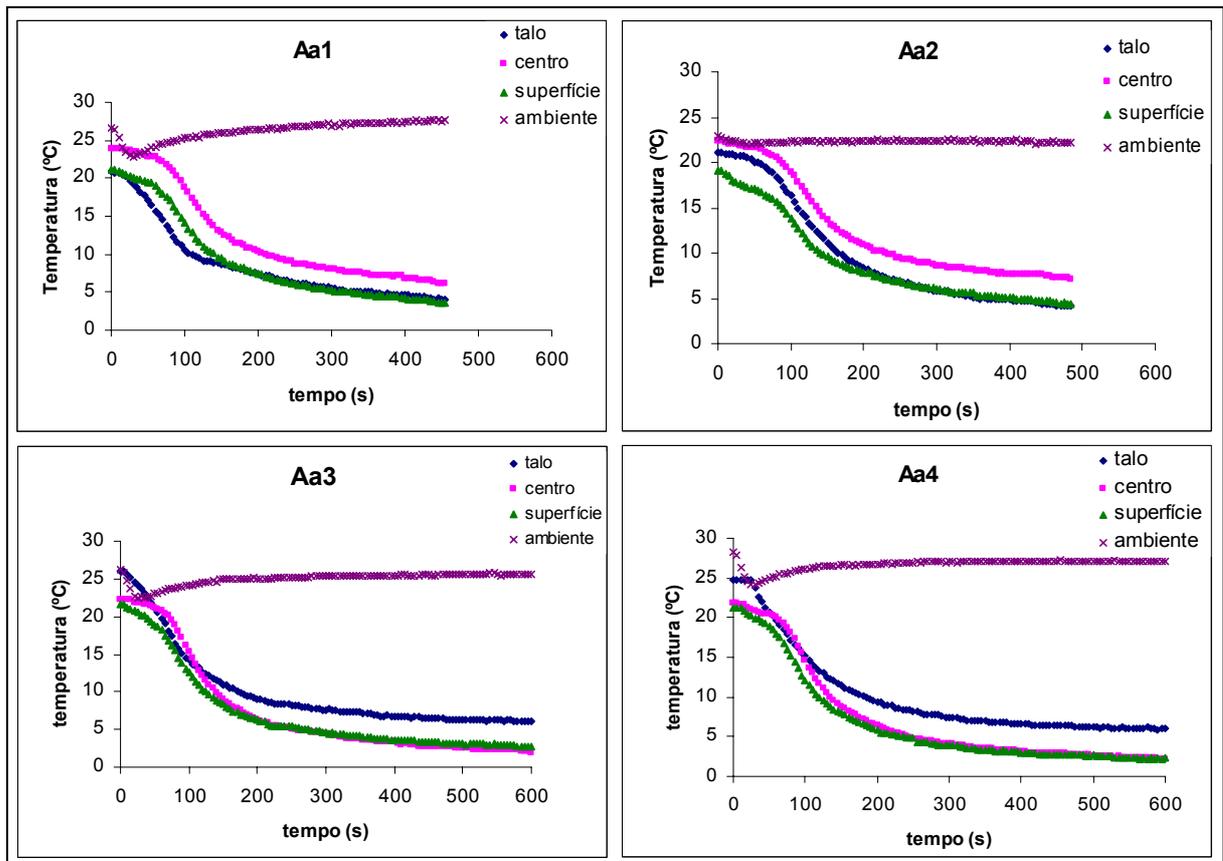


Figura C.6 Curvas de resfriamento a vácuo de *Pleurotus ostreatus* - experimento Aa (com aspersão de água) com 4 repetições.  $P_r = 7$  mmHg.

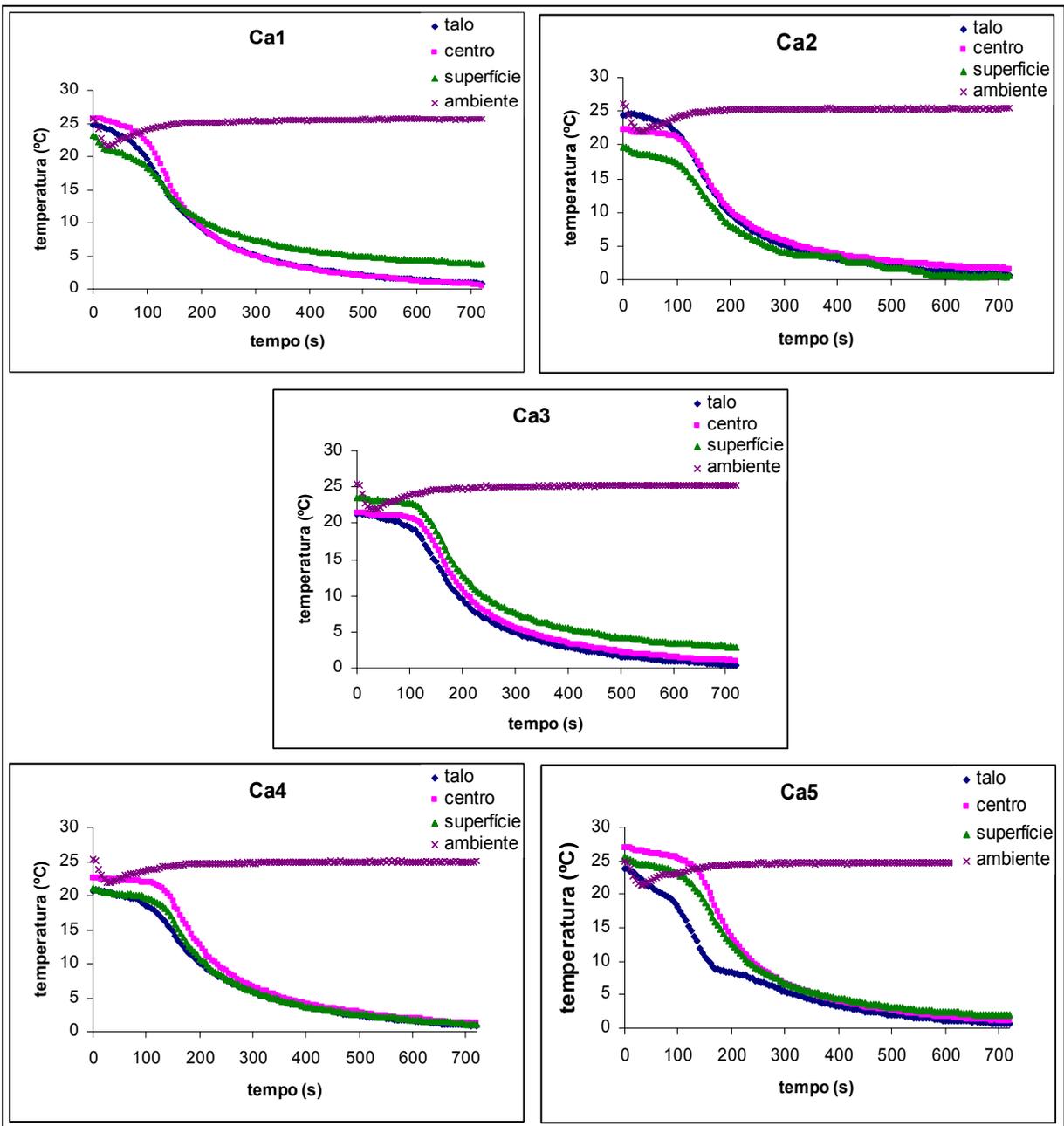


Figura C.7 Curvas de resfriamento a vácuo de *Pleurotus ostreatus* - experimento Ca (com aspersão de água) com 5 repetições.  $P_f = 5$  mmHg.

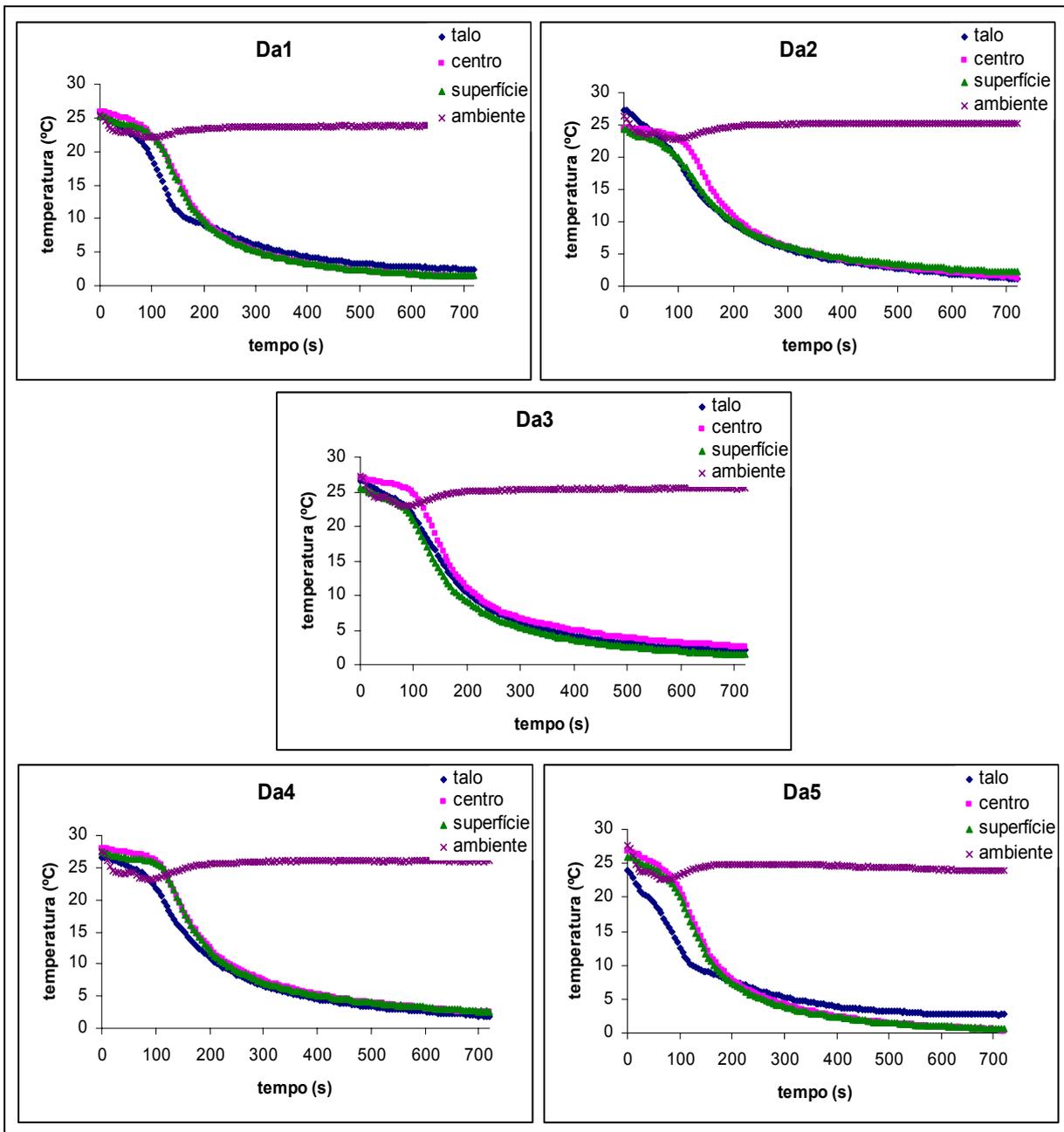


Figura C.8 Curvas de resfriamento a vácuo de *Pleurotus ostreatus* - experimento Da (com aspersão de água) com 5 repetições.  $P_f = 5$  mmHg.

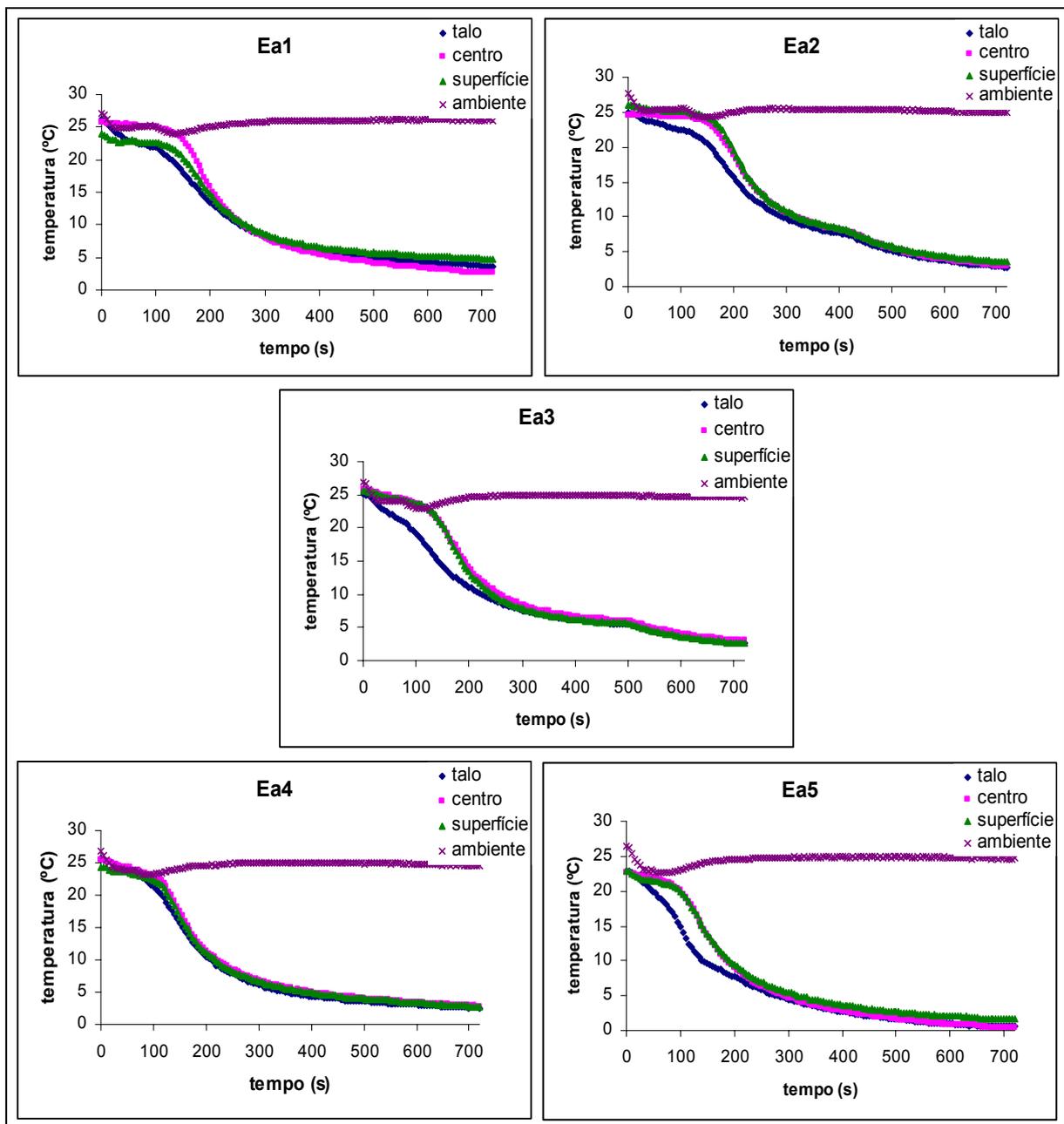


Figura C.9 Curvas de resfriamento a vácuo de *Pleurotus ostreatus* - experimento Ea (com aspersão de água) com 5 repetições.  $P_f = 5$  mmHg.