



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS**

DARLENE CAVALHEIRO

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA O
PROCESSAMENTO DE MEXILHÕES (*Perna perna*).**

**Florianópolis/SC
2011**

DARLENE CAVALHEIRO

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA O
PROCESSAMENTO DE MEXILHÕES (*Perna perna*).**

Tese submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Alimentos. Área de concentração: Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. João Borges Laurindo

Florianópolis, Fevereiro de 2011

À minha família!

AGRADECIMENTOS

A Deus!

À minha Família!

Ao meu orientador Professor Dr. João Borges Laurindo, pela orientação e pelo esforço em prol do término do presente trabalho.

Aos professores e membros da banca: Carlos, Alfredo, Renata, Gláucia, Alcilene e Franciny pela disponibilidade e contribuições.

A todos os amigos e colegas do PROFI.

A Carol e a Fran, integrantes do Projeto FINEP.

A Raquel, secretária do CPGEA, por toda ajuda.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos.

À empresa Cavalo Marinho, em especial ao Alexandre e ao Rodrigo, que contribuíram para este trabalho, fornecendo as amostras utilizadas no mesmo.

À CAPES e à FINEP pelo apoio financeiro.

A todos, por tudo... Muito Obrigada!

*“Embora ninguém
possa voltar atrás e
fazer um novo
começo, qualquer um
pode começar agora
e fazer um novo fim”*

Chico Xavier

RESUMO

O Estado de Santa Catarina é o maior produtor de moluscos bivalves do Brasil, contribuindo com 95% da produção nacional, com maior destaque para os mexilhões. Estes moluscos são comumente comercializados *in natura* ou cozidos e resfriados/congelados. Por serem bastante perecíveis, após a coleta, devem ser consumidos ou processados no menor tempo possível. Nas empresas locais, os mexilhões são cozidos a vapor e resfriados por imersão em água gelada, porém pode ocorrer contaminação cruzada a partir do gelo e da água utilizados no resfriamento, comprometendo a qualidade do produto final. Desta forma, a necessidade de melhoramento e desenvolvimento de processos e produtos, agregando valor e prolongando a vida útil dos mexilhões, tem estimulado diversas pesquisas. No presente trabalho, foram propostas alternativas para o melhoramento das etapas de cozimento e resfriamento dos mexilhões, estudando a aplicação do resfriamento a vácuo e do tratamento térmico em embalagens flexíveis termoprocessáveis (*retort pouches*). O resfriamento a vácuo é uma técnica de resfriamento rápido, podendo ser realizada no mesmo equipamento de cozimento. Amostras processadas pelo método alternativo (cozimento a vapor-resfriamento a vácuo) e pelo método tradicional (cozimento a vapor-resfriamento imerso em água gelada) foram armazenadas sob refrigeração (10 °C/10 dias) e análises microbiológicas periódicas foram realizadas, sendo observado que as amostras resfriadas a vácuo apresentaram contagens microbiológicas menores que as amostras resfriadas por imersão em água gelada. O cozimento seguido do resfriamento a vácuo num mesmo equipamento (processo integrado) pode ser uma técnica viável para o processamento de mexilhões, reduzindo a manipulação do produto e evitando recontaminações, no entanto, avaliações sensoriais e físico-químicas do produto resfriado a vácuo ainda são necessárias. Como no resfriamento a vácuo ocorre perda de massa do produto, propôs-se o tratamento osmótico da carne dos mexilhões cozidos e resfriados a vácuo, permitindo obter informações sobre o comportamento da parte comestível destes moluscos, quando submetida a diferentes concentrações de sal na salmoura (5, 10, 15 e 20%). Foi observado que nas concentrações de 5 e 10% foram obtidos os maiores ganhos de água, recuperando parte da água perdida no cozimento-resfriamento. Também foi possível construir um diagrama operacional a partir dos dados do ganho de água e do ganho de sal. Quanto ao tratamento térmico de mexilhões em embalagens flexíveis termoprocessáveis, foram avaliadas cinco combinações de tempo e temperatura: 30, 25, 10 e 5 minutos à temperatura de 100°C e 30 minutos a 100 °C, iniciando o processo à temperatura ambiente. A pasteurização a 100 °C/5 minutos dos mexilhões embalados em *retort pouches* possibilitou uma estabilidade microbiológica durante 21 dias, sob refrigeração (5°C).

Palavras chaves: mexilhões, *Perna perna*, resfriamento a vácuo, tratamento osmótico, pasteurização, embalagem flexível termoprocessável.

ABSTRACT

The state of Santa Catarina is the largest producer of bivalves mollusks of the Brazil, contributing with 95% of national production, and the main specie is the mussels. These mollusks are marketing usually fresh or cooked and chilled/frozen. Due to their characteristics, are highly perishable and must be consumed or processed in the shortest time possible, after collected. In local factories, mussels are vapor cooked and after cooled by immersion in cold water, but can occur cross contamination from ice and water used in cooling, compromising the quality of the final product. Thus, the need for improving and developing processes and products, adding value and extending the shelf life of mussels, has stimulated several studies. In the present work, it was proposed alternatives for the improvement of the cooking and cooling of the mussels, studying the application of vacuum cooling and thermal treatment on retort pouches. The vacuum cooling is a fast cooling technique, and could be performed in the same cooking equipment. Samples processed by the alternative method (steaming-vacuum cooling) and by traditional methods (steaming-water immersion cooling) were stored under refrigeration (10 °C/10 days) and microbiological analysis were carried out periodically, being observed that vacuum cooled samples had lower microbial counts than the samples cooled by water immersion. Cooking followed by vacuum cooling in the same equipment (integrated process) could be a viable technique for mussels processing, reducing product handling and avoiding recontaminations, however, sensory evaluation and physical-chemical analysis of vacuum cooled product are still needed. At the vacuum cooling, the product usually have weight loss, than, it was proposed the osmotic treatment of the flesh of the cooked-vacuum cooled mussels, allowing to get information about the behavior of the edible part of this mollusks when subjected to different concentrations of salt in brine (5, 10, 15 and 20%). It was observed that concentrations of 5 and 10% showed the highest gains of water, recovering some of the water lost during cooking-cooling process. It was also possible to construct an operational diagram from the data of water gain and salt gain. The thermal treatment of mussels in retort pouches were evaluated to five combinations of temperature and time: 30, 25, 10 and 5 min at 100 °C and 30 min at 100 °C, starting the process at room temperature. Pasteurization at 100 °C/5 min of the mussels packed in retort pouches allowed a microbiological stability for 21 days under refrigeration.

Keywords: mussels, *Perna perna*, vacuum cooling, osmotic treatment, pasteurization, retort pouch.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	31
OBJETIVO	33
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	33
ESTRUTURA DO TRABALHO	33
CAPÍTULO 1	35
1 MEXILHÕES.....	35
1.1 CARACTERÍSTICAS	35
1.2 MICROBIOTA.....	37
1.4 PRODUÇÃO	40
1.4 BENEFICIAMENTO.....	40
REFERÊNCIAS	42
CAPÍTULO 2	45
2 ESTUDO DO COZIMENTO DE MEXILHÕES INTEGRADO AO RESFRIAMENTO A VÁCUO	45
2.1 INTRODUÇÃO	45
2.1.1 Objetivo.....	46
2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	47
2.2.1 Cozimento	47
2.2.2 Resfriamento a Vácuo.....	49
2.2.2.1 Princípio do resfriamento a vácuo.....	49
2.2.2.2 Equipamento do resfriamento a vácuo	50
2.2.2.3 Fatores que afetam o processo de resfriamento a vácuo	51
2.2.2.4 Vantagens e desvantagens do resfriamento a vácuo	53
2.2.2.5 Aplicações do resfriamento a vácuo	55
2.2.3 Validação microbiológica do processo de cozimento e resfriamento de alimentos.....	58
2.2.4 Textura de alimentos	58
2.3 MATERIAL E MÉTODOS	61
2.3.1 Preparo da amostra.....	61
2.3.2 Dispositivo experimental	62
2.3.3 Experimentos de cozimento	63
2.3.4 Experimentos de resfriamento a vácuo	64
2.3.5 Determinações analíticas.....	64
2.3.5.1 pH.....	64

2.3.5.2	Teor de umidade.....	65
2.3.5.3	Textura	65
2.3.5.4	Análises microbiológicas	66
2.3.6	Parâmetros do processo	67
2.3.6.1	Determinação da perda de massa no cozimento	67
2.3.6.2	Determinação da perda de massa efetiva no processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo	67
2.3.6.3	Determinação da perda de massa no resfriamento a vácuo	68
3.3.7	Análise estatística.....	68
2.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
2.4.1	Propriedades físico-químicas dos mexilhões <i>in natura</i>	69
2.4.2	Cozimento	70
2.4.3	Resfriamento a vácuo	72
2.5	CONCLUSÕES	85
	REFERÊNCIAS.....	87
CAPÍTULO 3.....		97
3 ESTUDO DO TRATAMENTO OSMÓTICO DE MEXILHÕES EM SOLUÇÃO SALINA.....		97
3.1	INTRODUÇÃO	97
3.1.1	Objetivo.....	99
3.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	100
3.2.1	O processo de salga.....	100
3.2.2	Tratamento osmótico.....	100
3.2.2.1	Relações de equilíbrio durante o tratamento osmótico de alimentos	102
3.2.2.2	Modelos aplicados no estudo da transferência de massa durante o tratamento osmótico.....	103
3.2.2.3	Aplicações do tratamento osmótico em solução salina (salga úmida).....	106
3.2.3	Impregnação a vácuo.....	107
3.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	110
3.3.1	Tratamento osmótico à pressão atmosférica.....	111
3.3.1.1	Preparo da amostra	111
3.3.1.2	Preparo da solução salina	111
3.3.1.3	Dispositivo experimental.....	111
3.3.1.4	Determinações analíticas.....	112
3.3.1.5	Parâmetros do processo	113
3.3.1.6	Modelagem matemática do ganho de água e do ganho de sal pelas amostras de mexilhões durante o tratamento osmótico.....	114

3.3.2 Cinética da impregnação a vácuo.....	115
3.3.2.1 Dispositivo experimental	115
3.3.2.2 Preparo da amostra e da solução salina.....	116
3.3.3 Influência da intensidade do vácuo.....	117
3.3.4 Tratamento osmótico com aplicação de vácuo (impregnação a vácuo)	118
3.3.5 Análise estatística.....	119
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	120
3.4.1 Propriedades físico-químicas dos mexilhões cozidos a vapor e resfriados a vácuo.....	120
3.4.2 Tratamento osmótico de mexilhões, cozidos e resfriados, à pressão atmosférica.....	120
3.4.2.1 Cinética do ganho de água pelos mexilhões.....	120
3.4.2.2 Cinética do ganho de sal pelos mexilhões.....	123
3.4.2.3 Diagrama operacional de salga de mexilhões	126
3.4.2.4 Variação da concentração de sal (NaCl) nos mexilhões	127
3.4.2.5 Cinética do ganho de massa total pelos mexilhões	128
3.4.2.6 Variação da atividade de água (a_w) nos mexilhões	130
3.4.2.7 Modelagem matemática do ganho de água e do ganho de sal pelas amostras de mexilhões durante o tratamento osmótico	132
3.4.3 Cinética de impregnação a vácuo.....	136
3.4.3.1 Influência da pressão na cinética da impregnação a vácuo	138
3.4.4 Tratamento osmótico com aplicação de vácuo	139
3.5 CONCLUSÕES	143
REFERÊNCIAS	144

CAPÍTULO 4..... 152

4 TRATAMENTO TÉRMICO DE MEXILHÕES EM EMBALAGENS FLEXÍVEIS TERMOPROCESSÁVEIS (RETORT POUCHES)..... 152

4.1 INTRODUÇÃO	152
4.1.1 Objetivo.....	153
4.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	154
4.2.1 Tratamento térmico - pasteurização	154
4.2.1.1 Letalidade do processo e letalidade requerida para o processo.....	154
4.2.2 Embalagens flexíveis termoprocessáveis (<i>Retort pouches</i> – RP's).....	155
4.2.2.1 O processamento térmico de embalagens flexíveis termoprocessáveis – parâmetros críticos	157

4.2.3 O USO DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS NO PROCESSAMENTO TÉRMICO DE ALIMENTOS	161
4.3 MATERIAL E MÉTODOS	164
4.3.1 Matérias-Primas	165
4.3.1.1 Mexilhões	165
4.3.1.2 Embalagens flexíveis termoprocessáveis (<i>retort pouches</i>).....	165
4.3.2 Equipamentos e processos.....	167
4.3.2.1 Adaptação da autoclave.....	167
4.3.2.2 Calibração dos termopares	168
4.3.2.3 Distribuição de temperatura na autoclave	169
4.3.2.4 Ensaio de penetração de calor nas embalagens flexíveis termoprocessáveis contendo mexilhões <i>in natura</i>	170
4.3.3 Parâmetros do tratamento térmico.....	173
4.3.3.1 Determinação da letalidade requerida para o processo ($F_{\text{requerido}}$) e da letalidade do processo (F_{processo})	173
4.3.3.2 Determinação da taxa de aquecimento (fh) e do fator de atraso do aquecimento (jh).....	173
4.3.4 Determinações analíticas.....	174
4.3.4.1 pH.....	174
4.3.4.2 Teor de umidade.....	175
4.3.4.3 Atividade de água (a_w)	175
4.3.4.4 Análises microbiológicas	175
4.3.5 Análise Estatística	175
4.3.6 Avaliação da estabilidade microbiológica dos mexilhões pasteurizados em embalagens flexíveis termoprocessáveis.....	176
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	177
4.4.1 Determinação das condições de termosoldagem e de vácuo da embalagem	177
4.4.2 Distribuição de temperaturas na autoclave.....	178
4.4.3 Penetração de calor nas embalagens contendo mexilhões.....	179
4.4.4 Avaliação da estabilidade microbiológica dos mexilhões pasteurizados em embalagens flexíveis termoprocessáveis.....	188
4.5 CONCLUSÕES	193
REFERÊNCIAS.....	194
CONCLUSÕES GERAIS	202
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	204
APÊNDICE A -Cálculo da letalidade do processo (F_{processo}) e da letalidade requerida para o processo ($F_{\text{requerido}}$).	206

APÊNDICE B -Curvas de calibração para os termopares utilizados no processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo de mexilhões.....	208
APÊNDICE C -Determinação de cloretos (Método de Mohr)	210
APÊNDICE D -Curvas de calibração para os termopares utilizados no tratamento térmico de mexilhões em embalagens flexíveis termoprocessáveis.....	211

LISTA DE FIGURAS

Figura I. Alternativas para o processamento de mexilhões.	33
Figura 1.1. Mexilhão <i>Perna perna</i> (A – externamente e B – internamente).	36
Figura 1.2. Mexilhão fêmea (A) e mexilhão macho (B).	36
Figura 1.3. Fluxograma genérico do processamento de mexilhões.	41
Figura 2.1. Relação entre a pressão de vapor de saturação da água e a temperatura de saturação. Equação de Antoine: $\log_{10} P_{\text{vapor saturado}} = A - (B/(T+C))$; Para a água: $A=7,96681$; $B=1668,21$; $C=228,0$	50
Figura 2.2. Instalação típica do resfriamento a vácuo.	51
Figura 2.3. Curvas de resfriamento de cortes cozidos de carne (4-5 kg) resfriados por diferentes métodos.	54
Figura 2.4. Célula de cisalhamento de Kramer (KSC): suporte e lâminas.	59
Figura 2.5. Diagrama geral das etapas realizadas nos ensaios de cozimento-resfriamento a vácuo.	61
Figura 2.6. Esquema do dispositivo experimental utilizado nos experimentos de cozimento e resfriamento a vácuo de mexilhões.	63
Figura 2.7. Ensaio de textura com a célula de Kramer.	66
Figura 2.8. Perfis de temperatura de três mexilhões durante o cozimento a vapor ($T_{\text{mexilhão } 1}$, $T_{\text{mexilhão } 2}$, $T_{\text{mexilhão } 3}$); $T_{\text{ar-vapor}}$ = temperatura da mistura ar-vapor no interior da câmara.	71
Figura 2.9. Perfis de temperatura de três mexilhões durante o cozimento imerso em água ($T_{\text{mexilhão } 1}$, $T_{\text{mexilhão } 2}$, $T_{\text{mexilhão } 3}$); $T_{\text{água}}$ = temperatura da água de cozimento.	71
Figura 2.10. Perfis de tempo-temperatura para o período de resfriamento a vácuo de um ensaio experimental	

representativo de cada método integrado de cozimento-resfriamento a vácuo avaliado (▲ Cozimento a vapor-Resfriamento a vácuo; ● Cozimento imerso-Resfriamento a vácuo; ■ Cozimento imerso-Resfriamento a vácuo imerso).....	75
Figura 2.11. Perfis de temperatura de três mexilhões ($T_{\text{mexilhão } 1}$, $T_{\text{mexilhão } 2}$, $T_{\text{mexilhão } 3}$) durante o cozimento a vapor-resfriamento a vácuo; Tar-vapor = temperatura da mistura ar-vapor no interior do recipiente de cozimento-resfriamento; P = pressão.....	77
Figura 2.12. Perfis de temperatura de três mexilhões ($T_{\text{mexilhão } 1}$, $T_{\text{mexilhão } 2}$, $T_{\text{mexilhão } 3}$) durante o cozimento imerso em água-resfriamento a vácuo; Tágua = temperatura da água de imersão; P = pressão.....	77
Figura 2.13. Perfis de temperatura de três mexilhões ($T_{\text{mexilhão } 1}$, $T_{\text{mexilhão } 2}$, $T_{\text{mexilhão } 3}$) durante o cozimento imerso-resfriamento a vácuo imerso em água; Tágua = temperatura da água de imersão; P = pressão.	77
Figura 2.14. Contagem total de mesófilos em mexilhões cozidos a vapor, resfriados a vácuo (método alternativo) e resfriados por imersão em água gelada (método tradicional), durante 10 dias de armazenamento refrigerado (10 °C).....	83
Figura 2.15. Contagem total de psicrotróficos em mexilhões cozidos a vapor, resfriados a vácuo (método alternativo) e resfriados por imersão em água gelada (método tradicional), durante 10 dias de armazenamento refrigerado (10 °C).....	83
Figura 3.1. Esquema representativo para determinação do ganho de sal ou ganho de água no equilíbrio através do modelo de Azuara <i>et al.</i> , (1992).....	104
Figura 3.2. Diagrama do tratamento osmótico de mexilhões.	110
Figura 3.3. Dispositivo experimental para os ensaios do tratamento osmótico de mexilhões em solução salina.....	112
Figura 3.4. Dispositivo experimental utilizado na cinética do processo de impregnação a vácuo.	116

Figura 3.5. Curvas de pressão aplicadas nos ensaios para estudo da influência do vácuo na variação de massa.	117
Figura 3.6. Cinética do ganho de água pelos mexilhões para diferentes concentrações de sal (Cs): 5% NaCl (●), 10% NaCl (■), 15% NaCl (▲) e 20% NaCl (x).	121
Figura 3.7. Efeito da concentração de sal na solução (Cs) na cinética do ganho de água (GA) pelos mexilhões imersos em salmoura.	122
Figura 3.8. Cinética do ganho de sal pelos mexilhões para diferentes concentrações de sal (Cs): 5% NaCl (●), 10% NaCl (■), 15% NaCl (▲) e 20% NaCl (x).	124
Figura 3.9. Efeito da concentração de sal na solução (Cs) na cinética do ganho de sal (GS) pelos mexilhões imersos em salmoura.	125
Figura 3.10. Diagrama operacional para o tratamento osmótico de mexilhões em soluções salinas a 5,5°C. As linhas pretas representam os valores do ganho de água (GA) e as linhas cinzas representam os valores do ganho de sal (GS). O tipo de linha (sólida, tracejada, etc.) indica o mesmo tempo de imersão (--- 1h - - - 2h - · - 3h — 4h) para os dois grupos (GA-preta e GS-cinza).	126
Figura 3.11. Cinética da concentração de sal nos mexilhões para diferentes concentrações de sal na salmoura (Cs): 5% NaCl (●), 10% NaCl (■), 15% NaCl (▲) e 20% NaCl (x).	128
Figura 3.12. Cinética do ganho de massa total pelos mexilhões para diferentes concentrações de sal (Cs): 5% NaCl (●), 10% NaCl (■), 15% NaCl (▲) e 20% NaCl (x).	129
Figura 3.13. Cinética da variação da atividade de água dos mexilhões para diferentes concentrações de sal (Cs): 5% NaCl (●), 10% NaCl (■), 15% NaCl (▲) e 20% NaCl (x).	131
Figura 3.14. Ajuste da Equação 3.6 (item 3.2.2.2) aos dados experimentais do ganho de água (A) e ganho de sal (B) pelos mexilhões tratados com diferentes soluções salinas, no período avaliado.	133

Figura 3.15. Cinéticas do ganho de água (A) e do ganho de sal (B) durante o tratamento osmótico de mexilhões e o ajuste do modelo de Peleg aos dados experimentais.	134
Figura 3.16. Evolução temporal da força resultante sobre o recipiente perfurado e sobre a amostra e da pressão total do sistema nos ensaios de impregnação a vácuo de mexilhões em solução salina 5% NaCl (p/p).	137
Figura 3.17. Curvas da cinética da impregnação a vácuo para as três pressões avaliadas.	138
Figura 3.18. Cinéticas do ganho de água para o tratamento osmótico em solução salina a pressão atmosférica (IP _{atm}) e com aplicação de vácuo (IV).	140
Figura 3.19. Cinéticas do ganho de sal para o tratamento osmótico a pressão atmosférica (IP _{atm}) e para o tratamento osmótico com aplicação de vácuo (IV).	140
Figura 3.20. Cinéticas do ganho de massa total para o tratamento osmótico a pressão atmosférica (IP _{atm}) e para o tratamento osmótico com aplicação de vácuo (IV).	141
Figura 4.1. Diagrama das principais etapas do tratamento térmico de mexilhões em embalagens flexíveis termoprocessáveis...	164
Figura 4.2. Embalagens utilizadas no tratamento térmico de mexilhões..	165
Figura 4.3. Esquema do ensaio para medida do ar residual das embalagens.	167
Figura 4.4. A – Aparato experimental utilizado no processamento térmico; B – Suporte para confinamento das embalagens.	168
Figura 4.5. Arranjo das embalagens e termopares para os ensaios de distribuição de calor.	169
Figura 4.6. Embalagem flexível termoprocessável contendo mexilhões e termopar acoplado através do “niple”. Em destaque, o tubo de inox contendo o termopar e inserido no “niple”.	171
Figura 4.7. Embalagens dipostas no suporte de confinamento para posterior processamento.	172

Figura 4.8. Perfis de temperaturas em diferentes posições no arranjo de três blocos (espaçamento de 6 cm) de embalagem mais bandejas.	179
Figura 4.9. Perfis de temperatura para os ensaios 1, 2 e 3. As curvas $T_{\text{embalagem 1}}$, $T_{\text{embalagem 2}}$ e $T_{\text{embalagem 3}}$ representam as temperaturas das embalagens 1, 2 e 3, respectivamente, e Tmeio representa a temperatura do meio de aquecimento/resfriamento.	182
Figura 4.10. Perfis de temperatura para os ensaios 4 e 5. As curvas $T_{\text{embalagem 1}}$, $T_{\text{embalagem 2}}$ e $T_{\text{embalagem 3}}$ representam as temperaturas das embalagens 1, 2 e 3, respectivamente, e Tmeio representa a temperatura do meio de aquecimento/resfriamento.	183
Figura 4.11. A – Exemplo da curva de aquecimento semilogarítmica; B – Ajuste de uma reta a fase retilínea da curva de aquecimento para o cálculo dos parâmetros do tratamento térmico (taxa de aquecimento e fator de atraso) pelo método de Ball.	185
Figura 4.12. Contagem total de psicrotróficos, psicrófilos e mesófilos anaeróbios para mexilhões pasteurizados e armazenados sob refrigeração (5 °C) durante 30 dias.	190
Figura 4.13. Valores de pH de mexilhões <i>in natura</i> e de mexilhões pasteurizados e armazenados sob refrigeração (5±1°C) durante 30 dias.	191
Figura 4.14. Visualização do líquido presente na embalagem após a pasteurização e após 30 dias de armazenamento refrigerado (5±1°C).	192

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Composição centesimal da carne de mexilhões <i>Perna perna</i> cozidos e resfriados (LIMA, 2010).	37
Tabela 2.1. Teor de umidade e perda de massa dos mexilhões cozidos no vapor e imersos em água.	71
Tabela 2.2. Parâmetros do processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo de mexilhões.	73
Tabela 2.3. Valores médios de temperatura e pressão experimentais e valores de pressão calculados pela Equação de Antoine para os diferentes processos avaliados.	79
Tabela 2.4. Valores da firmeza e do teor de umidade dos mexilhões cozidos e resfriados a vácuo.	79
Tabela 2.5. Valores de $F_{\text{requerido}}$ e de F_{processo} para o processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo.	81
Tabela 2.6. Resultados das análises microbiológicas de mexilhões frescos e processados.	81
Tabela 3.1. Propriedades físico-químicas dos mexilhões cozidos a vapor e resfriados a vácuo.	120
Tabela 3.2. Equações dos ajustes dos dados experimentais do ganho de água (GA) pelos mexilhões em função da concentração de sal na solução (Cs), para diferentes tempos de imersão.	123
Tabela 3.3. Equações dos ajustes dos dados experimentais do ganho de sal (GS) pelos mexilhões em função da concentração de sal na solução (Cs) para diferentes tempos de imersão.	125
Tabela 3.4. Ganho de água no equilíbrio (GA^{∞}) e ganho de sal no equilíbrio (GS^{∞}) para mexilhões submetidos ao tratamento osmótico em soluções salinas de diferentes concentrações de sal, a temperatura de 5,5°C.	132
Tabela 3.5. Parâmetros do modelo de Peleg e parâmetros estatísticos para a modelagem do ganho de água (GA).	135

Tabela 3.6. Parâmetros do modelo de Peleg e parâmetros estatísticos para a modelagem do ganho de sal (GS).	135
Tabela 3.7. Valores do ganho de massa (GM), ganho de água (GA) e ganho de sal (GS) para as amostras de mexilhões no final do processo de impregnação a vácuo.....	137
Tabela 3.8. Parâmetros obtidos para as três pressões absolutas avaliadas.	139
Tabela 4.1. Parâmetros de tempo e temperatura para os ensaios de penetração de calor nas embalagens flexíveis termoprocessáveis contendo mexilhões.....	172
Tabela 4.2. Resultados para os ensaios de termossoldagem e vácuo das embalagens utilizadas.	177
Tabela 4.3. Parâmetros obtidos nos ensaios de distribuição de calor na autoclave adaptada.....	178
Tabela 4.4. Parâmetros do tratamento térmico para as diferentes condições de processo avaliadas.....	180
Tabela 4.5. Valores para teor de umidade, atividade de água e pH dos mexilhões <i>in natura</i> e pasteurizados em embalagens flexíveis termoprocessáveis nos diferentes ensaios realizados.....	181
Tabela 4.6. Valores da letalidade requerida pelo processo ($F_{\text{requerido}}$) e valores da letalidade total do processo (F_{processo}) de pasteurização de mexilhões <i>in natura</i>	184
Tabela 4.7. Parâmetros fh e jh do tratamento térmico de mexilhões <i>in natura</i> embalados em embalagens flexíveis termoprocessáveis, determinados pelo método de Ball. ..	184
Tabela 4.8. Resultados das análises microbiológicas de mexilhões frescos e processados a 100 °C por 10 minutos (ensaio 4).	186
Tabela 4.9. Resultados das análises microbiológicas de mexilhões frescos e processados a 100 °C por 5 minutos (ensaio 5).	187
Tabela 4.10. Resultados das análises microbiológicas para mexilhões crus, pasteurizados e armazenados sob refrigeração ($5\pm 1^{\circ}\text{C}$).....	189

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FAO	Food and Agriculture Organization
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
RP	<i>Retort pouch</i>
η_T	Decréscimo de temperatura por unidade de perda de massa percentual ($^{\circ}\text{C}/1\%$)
GA	Ganho de água
GS	Ganho de sal
GM	Ganho de massa total
Cs	Concentração de sal
a_w	Atividade de água
D	Tempo de redução decimal do micro-organismo alvo do processo, na temperatura de referência (minutos)
z	Incremento de temperatura necessário para que o tempo de redução decimal diminua a um décimo ($^{\circ}\text{C}$)

INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina é o maior produtor de moluscos bivalves do Brasil, sendo responsável por 95% da produção nacional. As espécies com maior destaque são a ostra, o mexilhão e a vieira (SOUZA et al., 2009; EPAGRI, 2010).

O cultivo de mexilhões desenvolveu-se de maneira acentuada na última década, principalmente na região da Grande Florianópolis, obtendo-se em 2009 uma produção de 10.663 toneladas (EPAGRI, 2010). Com o aumento da produção, surgiu o interesse da indústria em processar essa matéria-prima, agregando valor à mesma.

Nas unidades de processamento locais, uma das etapas do processamento consiste em cozinhar os mexilhões, facilitando o desconchamento dos mesmos. Após o cozimento, o produto segue para o resfriamento por imersão em água gelada. Esta fase do processo é uma das mais críticas, pois além de necessitar de um resfriamento rápido após o cozimento, a água e o gelo são potenciais recontaminantes do produto, o que requer um rígido controle da qualidade destes insumos (HUBER, 2004). Desta forma, por ser uma atividade incipiente no Brasil, há a necessidade do melhoramento dos processos e produtos, visando à disponibilidade de mexilhões com qualidade e sanidade asseguradas.

Além disso, os mexilhões constituem uma fonte rica em proteínas, vitaminas, minerais e Omega 3 (CAGLAK et al., 2008; ORBAN et al., 2002), ainda pouco presente na alimentação brasileira, principalmente, devido à indisponibilidade, pois *in natura* são produtos de curta vida útil e na forma processada são quase inexistentes no Brasil, além do elevado custo.

Nesse contexto, o presente trabalho tem por finalidade contribuir cientificamente e tecnologicamente para o aprimoramento do beneficiamento de moluscos, em especial de mexilhões (*Perna perna*), através do estudo do processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo e do tratamento térmico em embalagens flexíveis termoprocessáveis.

O resfriamento a vácuo apresenta-se como uma técnica viável para emprego nesse tipo de processo, pois reduz o tempo de resfriamento, o produto é resfriado de forma homogênea e não utiliza água. Além disso, pode ser integrado ao cozimento, realizando-se estas

duas etapas num mesmo equipamento, o que reduz a manipulação do produto. Contudo, uma das grandes desvantagens do resfriamento a vácuo é a perda de massa, visto que este processo se dá pela evaporação da água do produto. Desta forma, tem-se estudado alternativas para reduzir essa perda de massa, tornando o processo mais rentável e melhorando as características sensoriais do produto final. Algumas sugestões são a aspersão de água no produto antes do resfriamento ou o resfriamento do produto imerso em água, salmoura ou molhos (ZHANG e SUN, 2006; DRUMOND *et al.*, 2009).

Outro possível procedimento seria o tratamento osmótico dos mexilhões, cozidos e resfriados, em solução salina, que consiste na imersão do produto em uma solução, por um determinado tempo, durante o qual ocorre a impregnação do soluto juntamente com a solução (COLLIGNAN *et al.*, 2001). Desta forma é possível recuperar parte da água perdida durante o processo de cozimento-resfriamento a vácuo. Também é possível obter produtos diferenciados, como defumados e/ou temperados, com a adição de aroma e/ou temperos na solução osmótica. Dependendo da concentração de sal utilizada na solução, o tratamento osmótico também pode ser utilizado como um pré-tratamento, desidratando a amostra, para posterior secagem.

Os mexilhões deterioram-se com muita facilidade devido à sua composição e às suas características físico-químicas. Desta forma, uma das preocupações da indústria é prolongar a vida útil destes moluscos. Como são organismos que se alimentam por filtração da água, possuem uma microbiota muito rica. Assim, além de se obter matéria-prima de áreas livres de contaminação, deve-se monitorar rigidamente as etapas do beneficiamento, em especial o cozimento, responsável pela redução da microbiota natural, e o resfriamento, a fim de evitar recontaminações (ANTONIOLLI, 1999; JAY, 2005; SOUZA *et al.*, 2009).

O tratamento térmico dos mexilhões em embalagens flexíveis termoprocessáveis é uma opção ao processamento tradicional. O acondicionamento destes moluscos em embalagens para posterior cozimento e resfriamento possibilita um processo mais seguro, prolongando a vida útil, e uma forma diferenciada de apresentar o produto. Os mexilhões podem ser processados nestas embalagens, seja *in natura* ou cozidos e desconchados, possibilitando a oferta de diversos produtos aos consumidores.

A Figura I apresenta um diagrama com as alternativas de processo propostas no presente estudo.

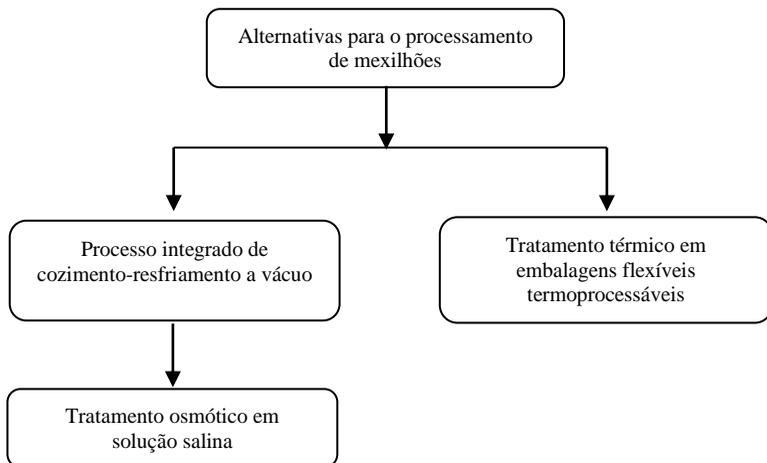


Figura I. Alternativas para o processamento de mexilhões.

OBJETIVO

“Estudar alternativas para o processamento de mexilhões.”

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar o processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo de mexilhões;
- Estudar o tratamento osmótico de mexilhões cozidos e resfriados;
- Estudar o tratamento térmico de mexilhões em embalagens flexíveis termoprocessáveis (*retort pouches*).

ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente Tese está estruturada da seguinte forma:

O Capítulo 1 descreve a matéria-prima utilizada nesta pesquisa. As características, a microbiota, a produção e o beneficiamento dos mexilhões;

O Capítulo 2 aborda o estudo do cozimento de mexilhões seguido do resfriamento a vácuo num mesmo equipamento;

O Capítulo 3 apresenta um estudo complementar ao Capítulo 2, sobre o tratamento osmótico em solução salina de mexilhões cozidos e resfriados a vácuo;

O Capítulo 4 traz o estudo do tratamento térmico de mexilhões em embalagens flexíveis termoprocessáveis.

Os Capítulos 2, 3 e 4 apresentam uma introdução e os objetivos específicos do trabalho proposto em cada capítulo; revisão da literatura, material e métodos, resultados e discussão, conclusões e referências bibliográficas. Por fim, tem-se uma conclusão geral, sugestões para trabalhos futuros e os apêndices.

CAPÍTULO 1

Este capítulo trata da matéria-prima utilizada nos estudos do presente trabalho. Apresenta-se uma breve descrição dos mexilhões, da microbiota presente nos mesmos, da produção e do beneficiamento destes moluscos.

1 MEXILHÕES

1.1 CARACTERÍSTICAS

Existem mais de 130.000 espécies de moluscos, contudo poucos grupos desta ampla variedade são de importância comercial. Os moluscos comestíveis podem dividir-se em três grupos: os univalves, que tem somente uma concha (caracóis terrestres e marinhos, lapas e abalones); os bivalves, com duas conchas (ostras, vôngoles e mexilhões); e os cefalópodes (lulas, sépias e polvos). Ostras, vôngoles ou berbigões, mexilhões e vieiras são de grande importância, estabelecendo a base de indústrias especializadas, abrangendo não só os setores de captura e processamento, mas também fazendas aquáticas em águas costeiras (SIKORSKI, 1994).

Os mexilhões compreendem diversas espécies de moluscos bivalves pertencentes à família *Mytilidea*, sendo os gêneros *Mytilus*, *Perna* e *Mytella* os de maior interesse comercial no Brasil. No Estado de Santa Catarina destaca-se a espécie *Perna perna*, a qual ocorre naturalmente nos costões rochosos e também é amplamente cultivada no litoral do Estado (MARQUES, 1998).

Com relação às principais características morfológicas, os mexilhões *Perna perna* (Figura 1.1) são constituídos externamente por duas conchas calcárias ou valvas, as quais encerram o corpo propriamente dito (MARQUES, 1998). Externamente, tem-se também o bisso, que são filamentos protéicos e servem para fixação do organismo ao substrato. Internamente, encontra-se o corpo do mexilhão, desprovido de esqueleto, e observa-se o manto, que é o tecido que recobre todo o

corpo do animal e está em contato direto com a concha (MANZONI, 2005).



Figura 1.1. Mexilhão *Perna perna* (A – externamente e B – internamente).

Fonte: Autora (2010).

Os mexilhões são animais de sexos separados, sendo raros os casos de hermafroditismo. Externamente não é possível realizar a diferenciação sexual, mas internamente sim, a partir da coloração das gônadas (Figura 1.2). As glândulas sexuais, ou folículos, encontram-se espalhadas por todo o manto. Durante a maturação sexual, esses folículos vão sendo preenchidos pelos gametas produzidos pelas gônadas, conferindo ao manto uma coloração típica: branco-leitoso nos machos e laranja-salmão nas fêmeas (MARQUES, 1998; MANZONI, 2005).

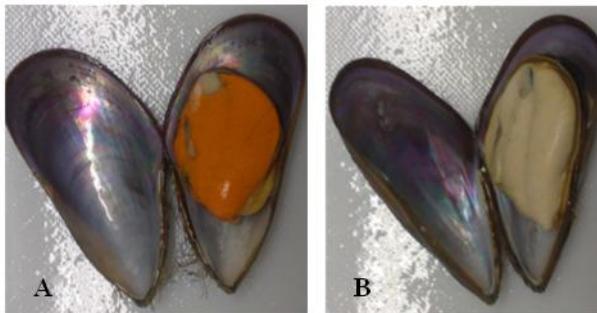


Figura 1.2. Mexilhão fêmea (A) e mexilhão macho (B).

Fonte: Autora (2010).

A Tabela 1.1 apresenta a composição centesimal da parte comestível de mexilhões, provenientes da mesma empresa fornecedora das amostras utilizadas no presente trabalho.

Tabela 1.1. Composição centesimal da carne de mexilhões *Perna perna* cozidos e resfriados (LIMA, 2010).

Componentes	%*
Umidade	76,4 ± 0,2
Proteínas	14,0 ± 0,1
Carboidratos (Fração Nifext)	5,3 ± 0,3
Lipídios	2,2 ± 0,1
Cinzas	2,1 ± 0,2

* Os valores percentuais dos componentes representam o valor médio ± desvio padrão de determinações em triplicata.

A carne dos mexilhões é rica em selênio, cálcio, ferro, magnésio, fósforo e vitaminas (A, B1, B2, B6, B12 e C) (VARELTZIS, 1996 *apud* CAGLAK *et al.*, 2008). Ainda, a gordura dos mexilhões é rica em ácidos graxos poliinsaturados, com 37 - 48% do total dos ácidos graxos, principalmente Omega 3 (ORBAN *et al.*, 2002).

A composição centesimal dos mexilhões *Perna perna*, como em muitas outras espécies, varia com o sexo e a fase do ciclo reprodutivo em que os indivíduos se encontram (MAGALHÃES e FERREIRA, 1997). Medeiros *et al.* (1996) *apud* Salán (2005) destacam que os mexilhões *Perna perna* apresentam pronunciada variação sazonal na composição de sua carne, com maior rendimento na época de desova.

A parte comestível dos mexilhões difere na sua composição centesimal tanto de pescados como de crustáceos, por ter um nível significativo de carboidratos e uma pequena quantidade total de nitrogênio em sua carne. Os carboidratos estão basicamente na forma de glicogênio e, com os níveis existentes na carne de moluscos, as atividades fermentativas ocorrem como parte da deterioração microbiana (JAY, 2005).

1.2 MICROBIOTA

Os mexilhões têm sua microbiota própria, a qual pode sofrer alterações, dependendo de alguns fatores externos, tais como a

contaminação de seu habitat, tornando os mesmos transportadores passivos de micro-organismos, os quais podem ser patogênicos ao homem (ARASAKI, 2002; ANTONIOLLI, 1999)

A qualidade destes moluscos está diretamente relacionada com a qualidade do ambiente onde são cultivados ou extraídos, pois estes se alimentam pelo bombeamento e filtração de água, retendo no seu trato gastrointestinal, além do plâncton, bactérias, vírus, substâncias químicas, entre outras partículas (VERNOCCHI, 2007; WOOD, 1979).

A maioria das bactérias associadas aos moluscos bivalves, como os mexilhões, são Gram-negativas, entre as quais são encontradas as espécies *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* e *Vibrio*. Em menor número, os micro-organismos Gram-positivos são normalmente representados por espécies de *Bacillus*, *Corynebacterium* e *Micrococcus* (ARASAKI, 2002).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), através da resolução RDC n° 12 (BRASIL, 2001), estabelece para moluscos bivalves *in natura*, resfriados ou congelados, e que não serão consumidos crus, que o valor para estafilococos coagulase positiva/g seja inferior a 10^3 UFC/g e a ausência de *Salmonella sp*/25g. Para moluscos bivalves cozidos, temperados e não, industrializados, resfriados ou congelados deve-se acrescentar às determinações anteriores coliformes a 45 °C/g, devendo ser menor que 50 NMP/g.

A *Escherichia coli* é a principal bactéria representante do grupo dos coliformes. É considerada a indicadora mais específica da contaminação fecal e da eventual presença de micro-organismos patogênicos. Por não fazer parte da microbiota do pescado marinho, a presença de *E. coli* está associada a contaminação fecal da água do local de captura e/ou do transporte e manuseio (incluindo recipientes de transporte, gelo, etc.) que, ocasionalmente, tenham entrado em contato com o pescado fresco (VIEIRA, 2003).

O *Staphylococcus aureus* pode provocar intoxicações devido à formação de toxinas no alimento, as quais são termorresistentes, ou seja, suportam a temperatura de 100 °C por 30 minutos. A contaminação dos mexilhões por esse micro-organismo ocorre predominantemente através do manipulador de alimentos, que abriga essa bactéria nas narinas, mãos, cabelo e pele (VIEIRA, 2003; JAY, 2005).

As salmonelas são amplamente distribuídas na natureza, sendo o principal reservatório destas bactérias o trato intestinal do homem e de animais (JAY, 2005). A possibilidade de contato das fezes contaminadas com águas, superfícies e manipuladores torna eminente a veiculação

deste micro-organismo por alimentos, incluindo peixes e frutos do mar (VIEIRA, 2003).

Algumas doenças associadas à ingestão de moluscos bivalves também têm sido causadas por bactérias do gênero *Vibrio*. Os alimentos de origem marinha contaminados com *Vibrio parahaemolyticus* e consumidos crus ou inadequadamente cozidos podem causar gastroenterites. No entanto, a pouca resistência desse micro-organismo ao calor permite sua inativação pelo simples aquecimento do alimento (ANTONIOLLI, 1999; VIEIRA, 2003).

Além dos micro-organismos patogênicos, podem ser encontrados nos mexilhões micro-organismos deteriorantes, os quais provocam alterações sensoriais, diminuindo a vida útil do produto. A grande quantidade de carboidratos em moluscos (mexilhões e vieiras 3,4% e ostras 5,6%) é o que diferencia a sua deterioração de outros frutos do mar (peixes, camarões, lulas). Mexilhões e vieiras apresentam essencialmente a mesma deterioração das ostras, das quais foram isolados os seguintes gêneros de bactérias: *Serratia*, *Pseudomonas*, *Proteus*, *Clostridium*, *Bacillus*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Shewanella*, *Lactobacillus*, *Flavobacterium* e *Micrococcus*. No início e no desenvolvimento da deterioração predominaram as *Pseudomonas* e a *Acinetobacter-Moraxella spp.*, enquanto nos estágios mais avançados da deterioração foram dominantes os *Enterococcus*, os *Lactobacillus* e as leveduras (JAY, 2005).

As *Pseudomonas sp.* e a *Shewanella putrefaciens* são as principais bactérias responsáveis pela deterioração de pescados e frutos do mar refrigerados, pois são micro-organismos psicrotróficos, que se desenvolvem a baixas temperaturas (HUSS, 1997; JAY, 2005). Os psicrotróficos são organismos capazes de crescer em temperaturas entre 0 °C a 7 °C e produzir colônias visíveis no período de 7 a 10 dias, com a temperatura ótima acima dos 20 °C (BAPTISTA e VENÂNCIO, 2003). Os principais são *Pseudomonas*, *Shewanella* e *Vibrio* (gram-negativos) e *Enterococcus*, *Bacillus* e *Clostridium* (gram-positivos).

Além dos psicrotróficos, também fazem parte da microbiota deteriorante os micro-organismos psicrófilos, capazes de se desenvolverem entre 0 °C e 20 °C, com uma faixa de temperatura ótima de crescimento entre 10 °C e 15 °C. Um exemplo deste grupo seria a *Flavobacterium* (JAY, 2005).

Desta forma, o controle sanitário das águas de cultivo e os cuidados com o manejo após a coleta, no processamento e armazenamento são essenciais a fim de minimizar as condições

propícias ao desenvolvimento microbiano, garantindo assim, produtos sem riscos à saúde pública.

1.4 PRODUÇÃO

A produção mundial de peixes, crustáceos e moluscos em 2008 foi de 142.287.124 t, sendo a produção mundial de mexilhões de 1.711.351 t, representando 1,2% do montante total. Desta quantidade de mexilhões produzidos, 95% provêm do cultivo e 5% da captura (FAO, 2010).

Nesse mesmo período, o Brasil atingiu uma produção de pescados, crustáceos e moluscos de 1.065.186 t (FAO, 2010), o que representa 0,75% da produção mundial. Deste total 775.000 t (72,8%) foram obtidos por captura e 290.186 t (27,2%) pela aquicultura, posicionando o país como 24º e 16º maior produtor mundial de peixes, crustáceos e moluscos capturados e cultivados, respectivamente.

Com relação à produção de moluscos bivalves cultivados, o Brasil é o segundo maior produtor da América Latina, sendo o Chile o primeiro. O Estado de Santa Catarina é responsável por este posicionamento, contribuindo com 95% da produção nacional (SOUZA *et al.*, 2009). Em 2009, a quantidade de moluscos comercializados por Santa Catarina (mexilhões, ostras e vieiras) foi de 12.462 toneladas, sendo que desse total 10.663 toneladas foram de mexilhões (85,5%) (EPAGRI, 2010).

Na mesma grandeza de sua produção está a responsabilidade que Santa Catarina vem assumindo em relação à segurança alimentar dos moluscos produzidos. Os moluscos bivalves têm sua qualidade diretamente dependente da situação da água do local onde são cultivados, sendo necessário que eles provenham de áreas de cultivo com água em condições sanitárias adequadas. Além disso, como todos os demais produtos de origem animal, esses organismos devem ser processados com os devidos cuidados nas etapas pós-coleta para assegurar a qualidade do produto até a sua chegada ao consumidor final (SOUZA *et al.*, 2009).

1.5 BENEFICIAMENTO

A Figura 1.3 apresenta o fluxograma de beneficiamento de mexilhões, bem como alternativas para o processamento e conservação

dos mesmos (HUBER, 2004; EPAGRI, 1994). Após o recebimento, os mexilhões são selecionados e limpos, seguindo para o cozimento a vapor por um tempo que varia de acordo com o tamanho dos mesmos e das condições de aquecimento. Em seguida ocorre o resfriamento, sendo duas práticas comumente utilizadas por pequenas unidades produtoras e processadoras: aspersão ou imersão em água gelada. Estas oferecem risco de contaminação microbiológica pela água de resfriamento ou gelo, além de elevar o consumo de água no processamento. Após resfriados, os mexilhões são desconchados, podendo a carne ser destinada à fabricação de conservas (enlatamento em salmoura) ou passar por processos de resfriamento e/ou congelamento, seguidos de embalagem e comercialização.

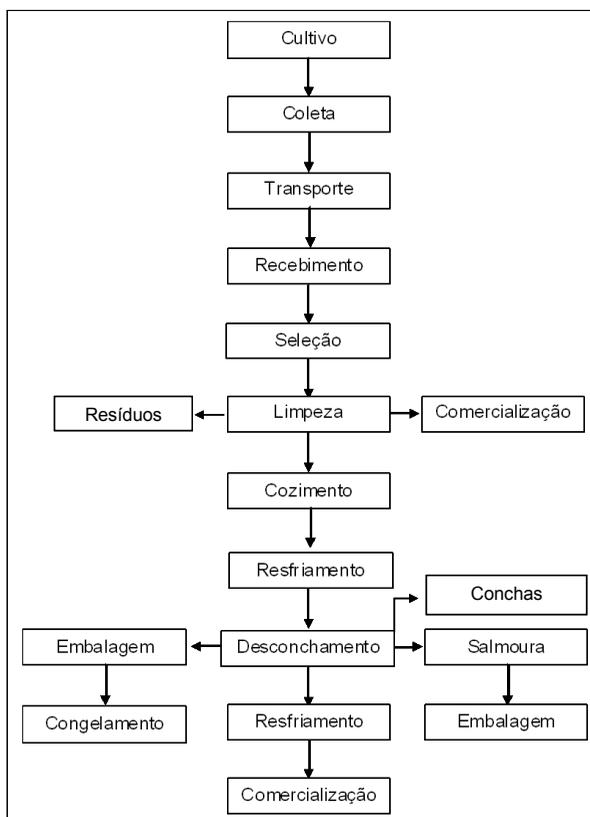


Figura 1.3. Fluxograma genérico do processamento de mexilhões.

Fonte: Huber (2004).

REFERÊNCIAS

ANTONIOLLI, M. A. **Vida útil do mexilhão *Perna perna* (L) processado e mantido sob refrigeração.** 1999. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

ARAZAKI, K. M. **Efeito da atividade antimicrobiana de substância produzida por *Bacillus amyloliquefaciens* no controle da microbiota do mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758).** 2002. 71 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BAPTISTA, P.; VENÂNCIO, A. **Os perigos para a segurança alimentar no processamento de alimentos.** Forvisão: Guimarães, Portugal, 2003. 109 p.

BRASIL. **Resolução RDC, nº 12, de 02 de janeiro de 2001.** Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 21/08/2008.

CAGLAK E., CAKLI, S., KILINC, B. Microbiological, chemical and sensory assessment of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) stored under modified atmosphere packaging. **European Food Research & Technology**, v. 226, p. 1293 – 1299, 2008.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Centro de Desenvolvimento em Aqüicultura e Pesca. SANTOS, A. A., NOVAES, A. L. T., SILVA, F. M. RUPP, G. S., VENTURA, R., MELLO, G. L., WINCKLER, S. **Síntese Informativa da Maricultura**, p 1-7, Jun 2010. Disponível em www.epagri.sc.gov.br. Acesso em 03/07/2010.

EPAGRI. **Manual de Cultivo do Mexilhão *Perna perna*.** Florianópolis: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina, 1994. 115 p.

FAO – **Food and Agriculture Organization** – Disponível em

www.fao.org. Acesso em 08/07/ 2010.

HUBER, E. **Resfriamento a vácuo de cortes de carnes após o cozimento**. 2004. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

HUSS, H. H. Garantia da Qualidade para os Produtos de Pesca. **FAO Documento Técnico sobre as Pescas**. n. 334. Roma, FAO. 1997. 176p.

JAY, J. M. **Microbiologia de Alimentos**. 6ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2005.

LIMA, M. **Avaliação das condições de processamento de mexilhões *Perna perna* pré-cozidos e resfriados**. 2010. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MAGALHÃES, A. R. M.; FERREIRA, J. F. **Mexilhões: biologia e cultivo**. 1997. 58 p. Monografia (Aqüicultura), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

MANZONI, G. C. **Cultivo de Mexilhões *Perna perna*: Evolução da atividade no Brasil e avaliação econômica da realidade de Santa Catarina**. 2005. 255p. Tese (Doutorado em Aqüicultura), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

MARQUES, H. L. A. **Criação comercial de mexilhões**. Nobel. São Paulo. 1998. 111p.

MEDEIROS, K. J.; TENSINI, M.; MATOS, C. H.; FACCIN, G. L.; BEIRÃO, L. H. Teor de zinco de mariscos (*Perna perna*) e ostras (*Crassostrea gigas*) da região de Florianópolis, Santa Catarina. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO. São Paulo. **Resumos dos trabalhos**, p. 39-44, 1996.

ORBAN, E., DI LENA, G., NEVIGATO, T., CASINI, I., MARZETTI, A., CAPRONI, R. Seasonal changes in meat content, condition index and chemical composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) cultured in two different Italian sites. **Food Chemistry**, v. 77, p. 57 –

65, 2002.

SALÁN, E. O. **Tratamento térmico de mexilhões *P. perna* como forma de assegurar a qualidade – avaliação do crescimento de *B. cereus* e *S. aureus***. 2005. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SIKORSKI, Z. E. **Tecnología de los productos del mar: recursos, composición nutritiva y conservación**. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, Espanha. 1994. 330p.

SOUZA, R. V., NOVAES, A. L. T., SANTOS, A. A., RUPP, G. S., SILVA, F. M. Controle Higiênico-sanitário de moluscos bivalves. **Panorama da Aqüicultura**, Nov-Dez, p. 54-59, 2009.

VARELTZIS, K. Mussels as food. **Fish News**, n. 11, p. 38 – 47, 1996.

VERNOCCHI, P., MAVEI, M., LANCIOTTI, R., SUZZI, G., GARDINI, F. Characterization of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) harvested in Adriatic Sea (Italy). **Food Control**, v. 18, p. 1575–1583, 2007.

VIEIRA, H. S. F. **Microbiologia, higiene e qualidade do pescado: teoria e prática**. Ed. Varela. São Paulo. 2003. 380 p.

WOOD, P. C. **Manual de higiene de los mariscos**. Acribia, Zaragoza. 1979. 79 p.

CAPÍTULO 2

Este capítulo aborda o estudo do cozimento de mexilhões integrado ao resfriamento a vácuo. Está dividido em Introdução, Objetivos, Revisão bibliográfica sobre cozimento, resfriamento a vácuo, cálculo dos parâmetros térmicos e textura. No tópico Material e Métodos, apresenta-se o aparato experimental utilizado, as análises e os parâmetros a serem determinados. Segue-se com Resultados e Discussão, Conclusões e Referências bibliográficas.

2 ESTUDO DO COZIMENTO DE MEXILHÕES INTEGRADO AO RESFRIAMENTO A VÁCUO

2.1 INTRODUÇÃO

Independentemente do método de preparação e cozimento utilizado, o resfriamento rápido de alimentos após o cozimento é essencial para a obtenção de produtos com melhor qualidade microbiológica, sensorial e nutricional (DRUMMOND *et al.*, 2009)

O resfriamento a vácuo atende a este objetivo, pois é uma técnica rápida de resfriamento (MACDONALD e SUN, 2000). Além disso, pode ser realizado no mesmo recipiente de cozimento, em sequência, evitando a transferência do produto entre equipamentos e assim reduzindo o tempo de processamento como um todo (SCHMIDT, ARAGÃO e LAURINDO, 2010).

A aplicação do resfriamento a vácuo a vegetais, produtos de panificação, carnes e pescados tem sido amplamente estudada e resultados satisfatórios foram obtidos, estimulando o emprego desta técnica a outros tipos de alimentos (SUN e ZHENG, 2006).

No início do beneficiamento, após a seleção e limpeza, os mexilhões são cozidos e resfriados para, entre outras funções, facilitar o desconchamento manual. Duas práticas de resfriamento são comumente utilizadas pelas unidades processadoras: aspersão ou imersão em água gelada. No entanto, estas oferecem risco de contaminação

microbiológica pela água de resfriamento e manipulação excessiva do produto, além do elevado consumo de água no processamento (HUBER, 2004).

Desta forma, a integração do resfriamento a vácuo após o cozimento dos mexilhões, apresenta-se como uma possível técnica para a melhoria do processamento destes moluscos.

2.1.1 Objetivo

“Avaliar a aplicação do resfriamento a vácuo a mexilhões, de forma integrada ao cozimento, visando evitar a manipulação excessiva do produto e obter um alimento microbiologicamente seguro.”

Os objetivos específicos desta etapa foram:

- a) Avaliar diferentes métodos de cozimento (a vapor e imerso em água) quanto ao tempo de processo, a perda de massa e o teor de umidade do produto cozido;
- b) Estudar o processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo quanto ao tempo de processo, perda de massa, o teor de umidade e a textura do produto final;
- c) Validar o processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo de mexilhões, determinando o valor de F do processo;
- d) Analisar a qualidade microbiológica dos mexilhões *in natura*, resfriados pelo processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo e resfriados pelo método tradicional de imersão em água gelada.

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2.1 Cozimento

O cozimento é um processo que compreende mudanças químicas, físico-químicas e estruturais dos componentes dos alimentos, provocadas intencionalmente pela ação do calor. Dessa forma, as estruturas alimentares são desagregadas, melhorando a palatabilidade e a digestibilidade do produto (TSCHEUSCHNER, 2001 *apud* ROSA *et al.*, 2006).

Devido ao cozimento podem ocorrer alterações nos atributos de qualidade, nas propriedades termofísicas (umidade, densidade, condutividade térmica, volume, etc.) e de textura e na perda de massa do produto (ERDOGDU *et al.*, 2004).

Segundo Sikorski (1994), os produtos de pesca em geral apresentam uma perda de massa que oscila ente 10 e 30%, dependendo da espécie, conteúdo de gordura, grau de frescor e parâmetros aplicados durante o aquecimento. A perda de água, diretamente relacionada à perda de massa, é causada por uma diminuição na capacidade de retenção de água das proteínas, devido à desnaturação das mesmas, e pelas forças internas causadas por pressões do encolhimento do tecido conjuntivo (ERDOGDU *et al.*, 2004).

Nos diferentes métodos de cozimento, as formas de transferência de calor, a temperatura de cozimento, a duração do processo, e o meio de cocção são alguns dos fatores responsáveis pelas alterações químicas e físicas que podem modificar o valor nutricional dos alimentos (ROSA *et al.*, 2006). Além da qualidade nutricional, os fatores citados, em especial o tempo e a temperatura de cozimento, influenciam na destruição de enzimas, na sobrevivência dos micro-organismos presentes no alimento e na persistência de toxinas responsáveis por doenças alimentares (SILVA JÚNIOR, 1995).

Os mexilhões são altamente perecíveis e possuem uma vida útil muito curta quando ainda crus (VAKILY, 1989). Assim, uma forma de obter um produto estável e próprio para o consumo é submetê-lo ao processamento pelo calor. O cozimento dos mexilhões, além de facilitar o desconchamento, desenvolve propriedades sensoriais características e reduz a contaminação por micro-organismos deteriorantes e patogênicos (SKIPNES, 2002; WOOD, 1979).

No cozimento, os moluscos bivalves são expostos ao calor úmido por um tempo que varia de acordo com o tamanho do mexilhão, a

velocidade de penetração do calor e as condições de aquecimento (WOOD, 1979).

O binômio tempo-temperatura de cozimento é um fator importante para assegurar a qualidade sanitária dos alimentos. Os binômios 65 °C por 10 minutos ou 75 °C por 5 minutos foram estabelecidos como padrões para alimentos, sendo letais para a maioria dos micro-organismos patogênicos (SILVA JUNIOR, 1995). Pigott e Tucker (1990) relatam que micro-organismos patogênicos podem ser destruídos a temperaturas menores do que 100°C, sendo que o procedimento de aumentar a temperatura interna dos alimentos para 66°C é normalmente suficiente para tornar o alimento seguro para o consumo.

Espínola e Dias (1980) *apud* Salán (2005) recomendam o cozimento dos mexilhões durante 6 minutos, em água em ebulição ou vapor a 100°C, ou por 4 minutos em vapor a 115°C. Vakily (1989) cita um tempo ótimo de 5 minutos no vapor a pressão atmosférica para mexilhões de 45 a 55 g de peso vivo.

Warwick (1984) *apud* Vakily (1989) fez a seguinte observação sobre o cozimento de mexilhões: “o processo deve ser longo o suficiente para abrir os mexilhões para desconchamento e destruir os micro-organismos deteriorantes, mas não tão longo que perdas elevadas de massa ocorram ou a carne do mexilhão endureça”.

No estudo realizado por Antonioli (1999) sobre a vida útil de mexilhões *Perna perna* processados e mantidos sob refrigeração, utilizando diferentes tempos de cozimento, de 15 até 30 minutos, com temperaturas finais variando de 80 °C a 96 °C, foi observado que todos os cozimentos aplicados foram satisfatórios quanto a eliminação dos micro-organismos. No entanto, houve uma diminuição do rendimento com o aumento do tempo de cozimento. O tratamento dos mexilhões por 30 minutos, atingindo a temperatura final de 96°C, apresentou melhores condições de desconchamento.

Salán (2005) estudou o tratamento térmico de mexilhões *Perna perna* como forma de assegurar a qualidade, avaliando o crescimento de *Bacillus cereus* e *Staphylococcus aureus*, e verificou que tanto o tratamento térmico com vapor (5, 10 e 15 min) como por imersão em água (5, 10 e 15 min) foram eficientes, eliminando os micro-organismos na ordem de pelo menos 2 ciclos logarítmicos. Nas condições analisadas, o tratamento por imersão em água em ebulição por 10 minutos apresentou os melhores resultados quanto aos atributos sensoriais e rendimento.

O cozimento, em água fervente ou sob vapor, é uma etapa comum no processamento industrial de moluscos e crustáceos e geralmente as temperaturas empregadas são iguais ou menores que 100°C. Desta forma, o produto não é esterilizado e o efeito do calor permite apenas prolongar a vida útil do mesmo. Após o cozimento é essencial o manuseio adequado para prevenir recontaminações e o rápido resfriamento do produto para retardar o crescimento de microorganismos sobreviventes (ROÇA, 2000 *apud* SCHMIDT, 2008).

2.2.2 Resfriamento a Vácuo

O resfriamento a vácuo é uma técnica rápida de resfriamento evaporativo, o qual é obtido através da evaporação de parte da umidade do produto sob condições de vácuo. As vantagens do resfriamento a vácuo incluem curto tempo de processamento, extensão da vida útil, melhoramento da qualidade e segurança do produto (ZENGH e SUN, 2005).

Tradicionalmente, o resfriamento a vácuo é utilizado na indústria agrícola para pré-resfriar vegetais folhosos e cogumelos. Também tem sido aplicado para resfriar produtos alimentícios particulados e viscosos e de panificação na indústria de alimentos, e atum na indústria de pescados (SUN e ZHENG, 2006).

Além de todas as possíveis aplicações do resfriamento a vácuo, algumas pesquisas destacam um interesse crescente na integração deste tipo de resfriamento ao processamento de alguns alimentos, como carnes cozidas, refeições prontas e seus componentes (SCHMIDT, ARAGÃO e LAURINDO, 2010; RODRIGUES, 2009; ZHENG e SUN, 2004; WANG e SUN, 2001).

2.2.2.1 Princípio do resfriamento a vácuo

O princípio do resfriamento a vácuo é baseado na obtenção do resfriamento através da evaporação de parte da umidade do produto sob condições de vácuo (SUN e ZHENG, 2006).

A temperatura na qual a água começa a evaporar é diretamente dependente da pressão de vapor do ambiente. Na pressão atmosférica de 101,3 kPa, a água evapora a 100 °C, no entanto, quando a pressão é reduzida a valores inferiores, a água vaporiza a uma temperatura menor,

conforme apresentado na Figura 2.1 (MAcDONALD e SUN, 2000; SUN e ZHENG, 2006).

Quando o produto é colocado em um recipiente fechado, onde a pressão é reduzida por uma bomba de vácuo, a diferença entre a pressão de vapor da água do produto e da atmosfera em torno do mesmo induzirá à evaporação da água. Para a evaporação da água, é preciso fornecer calor para suprir a entalpia de vaporização (ou calor latente de vaporização). Essa energia pode ser fornecida por um meio de aquecimento ou pelo próprio produto, que se resfria (resfriamento evaporativo) (SUN e ZHENG, 2006).

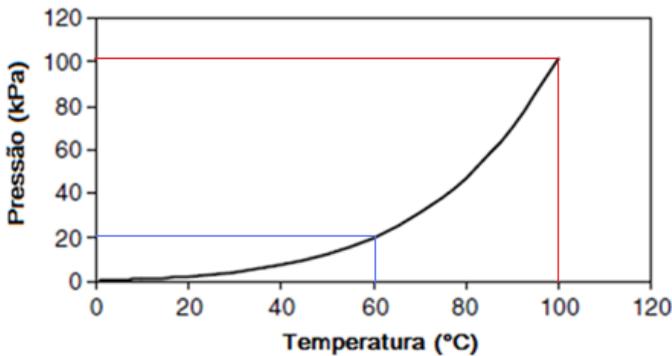


Figura 2.1. Relação entre a pressão de vapor de saturação da água e a temperatura de saturação. Equação de Antoine: $\log_{10} P_{\text{vapor saturado}} = A - (B/(T+C))$; Para a água: $A=7,96681$; $B=1668,21$; $C=228,0$.

Fonte: MacDonald e Sun (2000); Sun e Zheng (2006).

2.2.2.2 Equipamento do resfriamento a vácuo

De um modo geral, um sistema típico de resfriamento a vácuo é composto por uma câmara de vácuo, uma ou mais bombas de vácuo e uma unidade de condensação de vapor, além de tubulações e controles associados, similares aos apresentados na Figura 2.2 (McDONALD e SUN, 2000; SUN e WANG, 2001; WANG e SUN, 2001; SUN e WANG, 2006).

A câmara de vácuo é o local onde o alimento é colocado e resfriado. Esta é conectada ao sistema de vácuo através de uma porta de bombeamento e entre estes há uma válvula de isolamento. Há também

portas para indicação de temperatura e controle de temperatura/pressão (ZHENG e SUN, 2005).

O componente básico requerido é a bomba de vácuo, através da qual a pressão na câmara é reduzida e o vácuo gerado. Os tipos mais comumente usados são bomba rotatória selada a óleo ou ejetor de vapor (MALPAS, 1972 *apud* ZHENG e SUN, 2005). A bomba de vácuo é geralmente usada em conjunto com uma unidade condensadora de vapor para remoção prática e econômica da grande quantidade de vapor gerada (WANG e SUN, 2001).

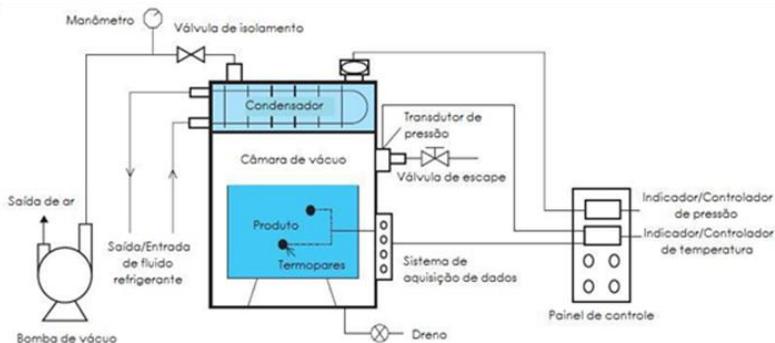


Figura 2.2. Instalação típica do resfriamento a vácuo.

Fonte: Adaptado de ZHENG e SUN (2005).

2.2.2.3 Fatores que afetam o processo de resfriamento a vácuo

Alguns fatores que influenciam o processo de resfriamento a vácuo são a taxa de resfriamento a vácuo, a distribuição de temperatura do produto e a perda de massa no resfriamento.

a) Taxa de resfriamento a vácuo

A técnica do resfriamento a vácuo é amplamente dependente da porosidade do produto e da distribuição dos poros, sendo que a alta porosidade e a distribuição uniforme dos poros conduzem a um processo de resfriamento mais rápido (ZHENG e SUN, 2005).

O peso, o tamanho e a forma do produto têm um efeito insignificante sobre a taxa de resfriamento a vácuo, o que é de fato uma das vantagens deste em relação aos métodos tradicionais (WANG e SUN, 2004).

Não apenas o produto em si, mas também as condições em que o processo é operado afetam a taxa do resfriamento a vácuo, em particular a pressão na câmara e a temperatura do condensador. Em geral, a influência do primeiro é expressa pela velocidade nominal da bomba de vácuo, ou taxa de redução de pressão. Na maioria das vezes, o uso de uma alta velocidade de bombeamento oferece um meio de reduzir a temperatura do produto num tempo mais curto. Quanto à temperatura do condensador, uma menor temperatura de operação aumenta a carga de condensação e, conseqüentemente, leva a um processo de resfriamento mais rápido (WANG e SUN, 2004).

b) Distribuição da temperatura do produto

Além da taxa de resfriamento, a porosidade e a distribuição dos poros também têm um efeito significativo sobre a distribuição da temperatura interna do produto durante o resfriamento a vácuo. Um produto com distribuição homogênea dos poros tem uma distribuição da temperatura interna uniforme, enquanto que se os poros se distribuem de forma desigual, áreas com alta porosidade terão uma temperatura menor do que aquelas que têm uma baixa porosidade ou não tem poros (ZHENG e SUN, 2005).

c) Perda de massa no resfriamento a vácuo

A perda de massa no resfriamento a vácuo é relativamente alta comparada aos métodos convencionais de resfriamento, sendo inevitável, uma vez que o resfriamento é obtido através da evaporação da água (McDONALD e SUN, 2000; ZHENG e SUN, 2004).

De acordo com Houska *et al.* (1996) *apud* Afonso (2005), a transferência de calor durante a evaporação na superfície do alimento pode ser descrita pela Equação 2.1:

$$\frac{d(m_p \bar{C}_p T)}{dt} = \frac{d(m_w \hat{H}_v)}{dt} \quad (2.1)$$

onde m_p é a massa do produto antes do resfriamento (kg), \bar{C}_p é o calor específico médio do produto no intervalo de temperatura de trabalho ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), T é a temperatura ($^\circ\text{C}$), m_w é a massa de água (kg) e \hat{H}_v é a entalpia específica de vaporização da água ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$).

A Equação 2.1 pode ser simplificada considerando-se o calor específico médio entre as temperaturas inicial e final do produto e a entalpia específica de vaporização da água constante. Assim, tem-se a

Equação 2.2 e pode-se calcular o total de água evaporada (perda de massa) durante o resfriamento a vácuo de um alimento (SUN e WANG, 2001).

$$\Delta m_w = \bar{C}_p m_p \frac{(\Delta T)}{\hat{H}_v} \quad (2.2)$$

onde Δm_w é a perda de massa de água (kg) e ΔT é a variação de temperatura do produto durante o processo ($^{\circ}\text{C}$). As demais variáveis foram definidas acima.

A partir da Equação 2.2 pode-se obter o decréscimo de temperatura por unidade de perda de massa percentual:

$$\eta_T = \frac{\Delta T}{\Delta m_w / m_p} = \frac{\hat{H}_v}{\bar{C}_p} \quad (2.3)$$

A Equação 2.3 indica que o decréscimo de temperatura por unidade de perda de massa percentual (η_T) depende do calor específico do produto, o qual está relacionado ao teor de umidade inicial do produto. Uma vez que a água tem um alto calor específico ($4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{C}^{-1}$), produtos com um teor de umidade inicial alto, portanto, requerem mais remoção do calor sensível e, conseqüentemente, mais água para ser evaporada e maior perda de massa.

A perda de água ocasionada pelo resfriamento a vácuo pode representar um problema quando for elevada. Também não é desejável uma perda significativa de massa do produto. Porém, esta perda ocorre de maneira uniforme em todo produto, e não apenas uma certa região do produto é afetada (AFONSO, 2005).

2.2.2.4 Vantagens e desvantagens do resfriamento a vácuo

a) Vantagens do resfriamento a vácuo

A principal vantagem é que o resfriamento a vácuo reduz a temperatura do produto em um tempo extremamente curto (ZHENG e SUN, 2005). Vários estudos têm mostrado quanto o resfriamento a vácuo é mais rápido em comparação aos métodos convencionais de resfriamento, como ar forçado, imersão em água e refrigerador comercial (DRUMOND *et al.*, 2009; McDONALD *et al.*, 2000; DESMOND *et al.*, 2000).

McDONALD e SUN (2000) apresentam uma comparação entre diferentes métodos de resfriamento de produtos cárneos cozidos, como ilustrado na Figura 2.3. Para as carnes resfriadas a vácuo o tempo de resfriamento foi aproximadamente 70% menor do que o necessário para o resfriamento por ar forçado.

A diferença entre a taxa de resfriamento dos métodos convencionais de resfriamento e do resfriamento a vácuo é causada principalmente pela diferença nos mecanismos de resfriamento. O resfriamento a vácuo é obtido através da evaporação da água do produto, simultaneamente dentro do produto e sobre sua superfície, enquanto que nos métodos convencionais, o resfriamento ocorre através da transferência de calor condutiva do centro do produto para a sua superfície, seguido da transferência de calor convectiva da superfície do produto para o ar circundante e, geralmente, a primeira etapa é limitante devido à baixa condutividade térmica da maioria dos produtos alimentícios (SUN e WANG, 2000).

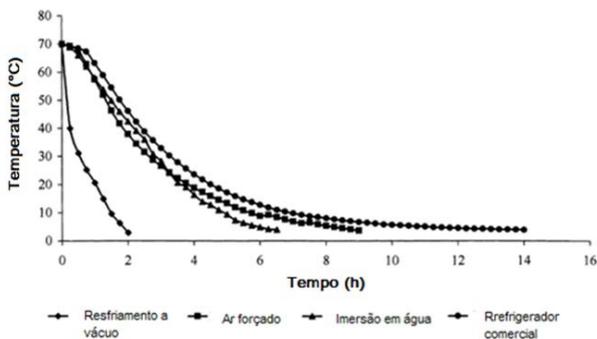


Figura 2.3. Curvas de resfriamento de cortes cozidos de carne (4-5 kg) resfriados por diferentes métodos.

Fonte: McDonald e Sun (2000)

Devido à rápida taxa de resfriamento, o resfriamento a vácuo é capaz de proporcionar benefícios à indústria de alimentos, por exemplo, encurtando o tempo de espera do produto, aumentando o rendimento de produção, reduzindo o consumo de energia (CHEN, 1986 *apud* ZHENG e SUN, 2005), minimizando o crescimento microbiano (McDONALD *et al.*, 2000), entre outros.

Além disso, o resfriamento a vácuo é um processo higiênico, visto que o ar somente entra na câmara de vácuo no fim do processo, quando a mesma é aberta para liberação do vácuo. Um controle preciso

da temperatura do produto também é possível durante o processo de resfriamento a vácuo, uma vez que a temperatura do produto pode ser baixada para 1 a 3 °C controlando a pressão absoluta (ZHENG e SUN, 2004).

O resfriamento a vácuo também beneficia o aumento da produtividade, tanto pela redução do tempo de resfriamento (KETTERINGHAM e JAMES, 2000) ou minimizando o atraso causado pela transferência do produto entre diferentes equipamentos, desde que o cozimento e o resfriamento sejam realizados numa mesma unidade de processo (JAMES *et al.*, 1987 *apud* ZHENG e SUN, 2005).

b) Desvantagens do resfriamento a vácuo

O resfriamento a vácuo é um processo específico, aplicável somente para produtos com alto teor de umidade e com uma estrutura porosa. Também necessita que a quantidade de umidade perdida não cause degradação significativa na qualidade do produto. Devido à alta perda de água, o resfriamento a vácuo tem um rendimento mais baixo do que outros métodos de resfriamento, o que é indesejável (ZHENG e SUN, 2005).

Vários métodos têm sido propostos para minimizar a perda de água no resfriamento a vácuo. Porém cada um com suas desvantagens. Por exemplo, aumentando a injeção de salmoura em carnes, por outro lado, há o aumento do gosto salgado, limitando a quantidade injetada; reduzindo a taxa de evacuação, o que também torna o processo de resfriamento a vácuo lento; a pré-umidificação ou a pulverização de água na câmara de resfriamento reduz a perda, mas impõe o risco de contaminação cruzada (SUN e ZHENG, 2006).

Ao contrário dos métodos convencionais de resfriamento, nos quais o maior efeito é sobre a superfície do produto, durante o resfriamento a vácuo, a vaporização ocorre tanto no interior quanto na superfície do produto, o que pode causar expansão e ruptura dos tecidos. Consequentemente, o resfriamento a vácuo pode ter um efeito negativo sobre a textura e a estrutura do produto (McDONALD e SUN, 2000).

2.2.2.5 Aplicações do resfriamento a vácuo

a) Frutas e vegetais

A principal aplicação do resfriamento a vácuo em vegetais é no resfriamento de folhosos, como alfaces (AFONSO, 2005). O pré-resfriamento de cogumelos é outra aplicação tradicional do resfriamento

a vácuo. (MAcDONALD e SUN, 2000; APATI, 2004). Estudos têm sido realizados também para investigar o resfriamento a vácuo de outras variedades de vegetais e frutas, incluindo batata e cenoura (RODRIGUES, 2009), brócolis, berinjela, pepino e cenoura, morango e melões (autores diversos *apud* SUN e ZHENG, 2006).

b) Produtos de padaria

O resfriamento a vácuo pode acelerar o processo de resfriamento para uma ampla faixa de produtos, como por exemplo, pães, bolos e biscoitos assados. É comercialmente usado na Itália para alguns produtos de padaria mais delicados, como os panetones (ACKER e BALL, 1977, EVERINGTON, 1993 *apud* SUN e ZHENG, 2006).

c) Molhos, sopas e refeições prontas

Diversas pesquisas demonstraram a eficácia do resfriamento a vácuo de carnes cozidas em molho (HOUSKA *et al.*, 2003), cenouras cozidas (ZHANG e SUN, 2003 *apud* ZHENG e SUN, 2005), arroz e brócolis cozidos (ZHANG e SUN, 2006), componentes comuns de molhos, sopas e refeições prontas.

Além da preocupação com a segurança alimentar, o resfriamento a vácuo também pode beneficiar a manutenção da qualidade do produto ao minimizar a destruição das vitaminas (KETTERINGHAM e JAMES, 2000) e evitar o cozimento em excesso de alguns produtos sensíveis ao calor (JAMES *et al.*, 1987 *apud* SUN e ZHENG, 2005).

d) Carnes cozidas

O resfriamento a vácuo de pedaços de carne cozida tem sido muito pesquisado nos últimos anos (DESMOND *et al.*, 2000, 2002; SUN e WANG, 2000, 2004; McDONALD *et al.*, 2001; McDONALD e SUN, 2001a, b; HUBER *et al.*, 2006; SCHMIDT, ARAGÃO e LAURINDO, 2010). Esta técnica possibilita o resfriamento rápido do produto cozido, minimizando o crescimento de qualquer micro-organismo patogênico que tenha sobrevivido ao processo de cozimento (DESMOND *et al.*, 2000).

No entanto, a perda de massa durante o resfriamento a vácuo de carnes cozidas é alta, em torno de 10% do peso original, para uma redução típica de temperatura de 72°C a 4°C. Desta forma, diversos autores têm pesquisado alternativas para minimizar a perda de massa no resfriamento de carnes cozidas. Além da injeção de solução salina na carne crua (McDONALD *et al.*, 2001; DESMOND *et al.*, 2002) e de

uma taxa de redução de pressão mais baixa, o resfriamento a vácuo de carnes cozidas imersas na solução de cozimento (resfriamento a vácuo imerso) pode minimizar as perdas e melhorar a qualidade (HOUSKA *et al.*, 2003; CHENG *et al.*, 2005; DRUMMOND e SUN, 2006; CHENG e SUN, 2006a, 2006b).

A qualidade de carnes cozidas e resfriadas a vácuo expressa pela cor, sabor e textura tem sido amplamente investigada. Independentemente das variações, em termos da aceitabilidade do produto como um todo, nenhuma diferença significativa em relação aos atributos sensoriais citados acima foi encontrada entre produtos resfriados a vácuo e pelos métodos tradicionais (DESMOND *et al.*, 2000, 2002; McDONALD *et al.*, 2000, 2001).

Estudos comparativos foram realizados sobre a qualidade microbiológica de carnes cozidas resfriadas por métodos convencionais e resfriamento a vácuo, e os resultados indicaram que o resfriamento a vácuo oferece um procedimento mais seguro de resfriamento (McDONALD *et al.*, 2000).

e) Peixes, crustáceos e moluscos

A maior aplicação do resfriamento a vácuo na indústria pesqueira é no resfriamento de atum. Normalmente, os atuns capturados no mar são imediatamente congelados em salmoura e transportados às fábricas de conservas, onde são descongelados e cozidos a vapor a 65 °C. Em seguida, são resfriados entre 35 °C e 40 °C, utilizando o resfriamento a vácuo, o que normalmente resulta em 3% a 4% de perda de peso (McDONALD e SUN, 2000).

Pesquisas também indicam que o resfriamento a vácuo pode ser aplicado para resfriar pequenos peixes, como badejos ou crustáceos, como, por exemplo, camarões (CARVER, 1975 *apud* McDONALD e SUN, 2000). Rolfe (1963) mostrou que o resfriamento a vácuo pode ser usado para congelar bandejas de filés de *haddock* cozido, porém a perda no resfriamento é muito elevada, cerca de 21% da massa original (McDONALD e SUN, 2000).

A aplicação do resfriamento a vácuo a mexilhões cozidos foi estudada por HUBER *et al.* (2006). Em aproximadamente três minutos estes moluscos foram resfriados de 90°C a 20°C. A perda de massa relativa durante o resfriamento a vácuo da amostra inteira (carne e concha) foi cerca de 8% da massa inicial da amostra, para o intervalo de temperatura citado acima. Houve uma redução de temperatura de $8,7 \pm 0,3^\circ\text{C}$ para cada 1% de perda de massa. Huber (2004) relata que a técnica de resfriamento a vácuo é uma alternativa promissora para o

resfriamento de mexilhões cozidos, pois o tempo do processo é reduzido e o risco de contaminação cruzada é significativamente minimizado na fase do resfriamento.

2.2.3 Validação microbiológica do processo de cozimento e resfriamento de alimentos

A validação microbiológica do processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo de mexilhões é de relevante importância para avaliar se as condições de tempo e temperatura empregados foram suficientes para inativar micro-organismos deteriorantes e/ou patogênicos presentes na microflora dos moluscos.

A partir de dados de distribuição de calor (temperatura x tempo) no interior do alimento durante o processo de cozimento-resfriamento e dos parâmetros (D e z) do micro-organismo alvo do processo é possível determinar a letalidade do processo (F_{processo}) e a letalidade requerida para o processo ($F_{\text{requerido}}$). Se F_{processo} é maior do que $F_{\text{requerido}}$ o tratamento térmico aplicado está adequado (DAVID *et al.*, 1996).

O equacionamento para o cálculo do F_{processo} e do $F_{\text{requerido}}$ está descrito no Apêndice A.

2.2.4 Textura de alimentos

Entre as diversas definições que a literatura apresenta para a textura de alimentos pode-se mencionar a de Szczesniak (2002), que descreve que textura é a manifestação sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas e de superfície dos alimentos detectadas através dos sentidos da visão, audição, tato e sinestésico.

Bourne (2002) define as propriedades de textura de um alimento como o grupo de características físicas que surgem a partir dos elementos estruturais dos alimentos, sentidas, principalmente, pela sensação de tocar; estão relacionadas com a deformação, desintegração e fluxo do alimento sob uma força e são medidas objetivamente por funções de massa, tempo e distância.

As propriedades de textura de um alimento podem ser avaliadas sensorialmente ou por métodos instrumentais. Vários artigos têm sido publicados sobre estudos da correlação entre a textura de alimentos obtida por avaliação sensorial e instrumental, apresentando bons resultados (DÍAZ *et al.*, 2009; PINO, 2008). A principal vantagem dos

métodos instrumentais é que possibilitam resultados mais rápidos e com menor variabilidade.

Dentre os métodos instrumentais utilizados para determinação da textura de produtos marinhos tem-se a medida da força ou resistência ao cisalhamento. A força de cisalhamento determinada usando a célula de cisalhamento de Kramer acoplada ao sistema de medida de força (por exemplo, texturômetro TA.XT2) tem sido um método mecânico útil para medir a firmeza de frutos do mar enlatados, congelados ou cozidos (BOTTA, 1996), sendo um atributo sensorial importante que determina a qualidade ou a aceitação do produto.

A célula de cisalhamento de Kramer (*Kramer shear cell – KSC*) consiste essencialmente de um conjunto de 5 ou 10 lâminas que se move verticalmente por fendas de um suporte onde a amostra é colocada (Figura 2.4). Este suporte pode receber uma determinada quantidade de produto, sendo necessário manter a massa de amostra a ser avaliada, uma vez que esta, em geral, apresenta configuração ou estrutura variável. Porém a heterogeneidade do produto não é problema neste teste (MONTERO e MORGADO, 2007).

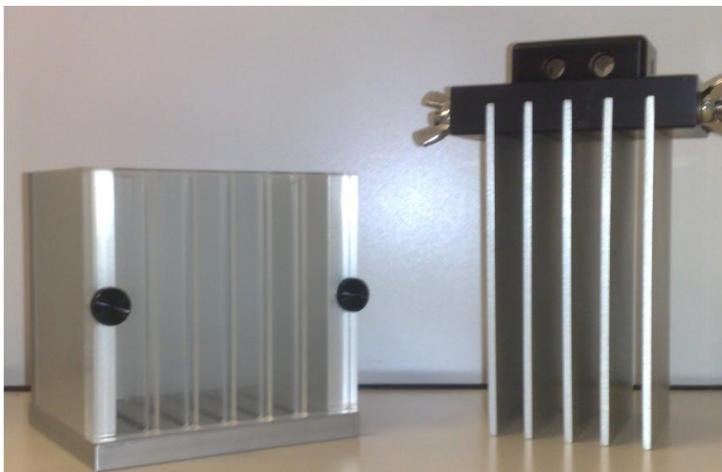


Figura 2.4. Célula de cisalhamento de Kramer (KSC): suporte e lâminas.

Fonte: Autora (2010).

Normalmente, mede-se a "força máxima de cisalhamento" e o resultado do ensaio é uma média das forças necessárias para cortar a amostra. Porém, este ensaio é conhecido por produzir uma combinação

de extrusão, compressão e corte (SZCZESNIAK *et al.*, 1970 *apud* MONTERO e MORGADO, 2007).

A célula de Kramer é útil na análise da textura de vários alimentos, como por exemplo, vegetais e frutas: cogumelos (JAWORSKA e BERNAS, 2010), brócolis e cenoura (ZHANG e SUN, 2006), morangos (MORENO *et al.*, 2000); carnes e pescados: sardinha e dourado do mar (GÓMEZ-ESTACA *et al.*, 2010), lagosta (DÍAZ, 2009), camarão (MARTÍNEZ-ALVAREZ, 2009; PINO, 2008), peito de frango e salmão (KONG *et al.*, 2008), pernil cozido (DESMOND *et al.*, 2002), entre outros.

Díaz *et al.* (2009) avaliaram a textura de lagostas congeladas durante a estocagem utilizando uma KSC acoplada ao um texturômetro (Instron 1140) com célula de carga de 500 N. Para os ensaios as amostras foram cozidas e colocadas no suporte (20g). Os valores obtidos para a lagosta congelada por um período de 6 meses foi de 14 N/g e 15 N/g para a extremidade inicial e final da cauda, respectivamente.

Martínez-Alvarez *et al.* (2009) avaliaram o efeito de diferentes métodos de cocção sobre a qualidade de camarões durante o armazenamento refrigerado. A resistência ao cisalhamento foi determinada em amostras de tamanho e peso semelhantes, utilizando uma célula de Kramer acoplada ao texturometro TA-XT2, com uma célula de carga de 50 N e uma velocidade de teste de 100 mm/min. O valor da força máxima de cisalhamento (firmeza) foi de $8,5 \pm 1,6$ N/g para camarões cozidos no vapor e $8,4 \pm 1,6$ N/g para camarões cozidos imersos em água fervente, enquanto para camarões crus foi de $3,6 \pm 0,5$ N/g.

Não há relatos na literatura sobre a determinação das propriedades de textura de mexilhões por métodos instrumentais. No entanto, com base nos trabalhos pesquisados, parece possível o uso da célula de Kramer para determinação da firmeza das amostras, uma vez que os mexilhões apresentam configuração e estrutura bastante variáveis.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 2.5 apresenta um diagrama geral das etapas realizadas no estudo do processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo.

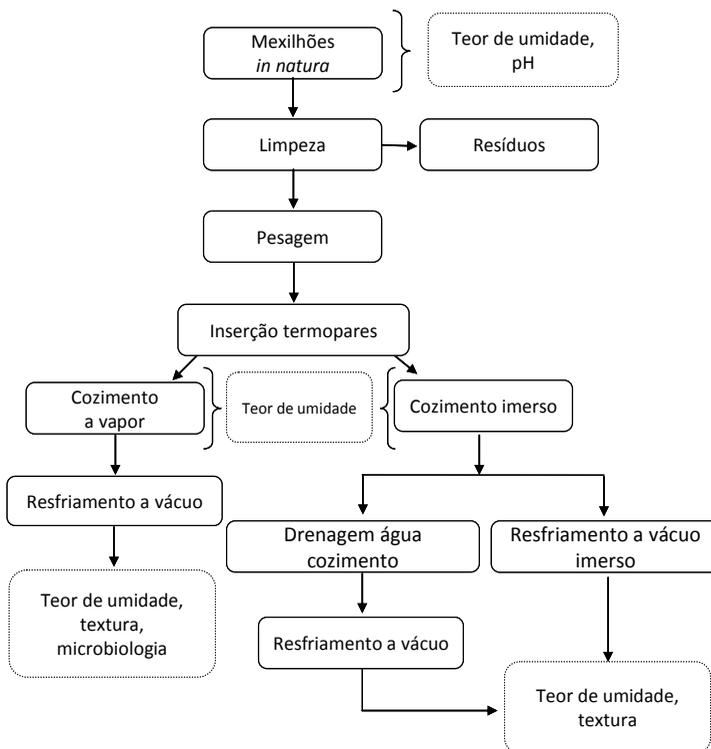


Figura 2.5. Diagrama geral das etapas realizadas nos ensaios de cozimento-resfriamento a vácuo.

2.3.1 Preparo da amostra

Os mexilhões (*Perna perna*) *in natura* utilizados nos experimentos foram fornecidos pela empresa Cavalo Marinho Comércio e Beneficiamento de Frutos do Mar, localizada no município de Palhoça - SC. As amostras, acondicionadas em sacos plásticos, foram armazenadas sob refrigeração (temperatura de 4 ± 1 °C) logo após o recebimento, sendo processadas em 24h. A preparação dos mexilhões para os experimentos teve início com a retirada de materiais aderidos às

conchas dos mesmos e corte dos biscoitos. Após a limpeza, as amostras foram pesadas (aproximadamente 300 a 350 g) e três unidades foram escolhidas aleatoriamente para inserção dos termopares, no centro das mesmas, a fim de acompanhar os perfis de temperatura durante o processamento.

2.3.2 Dispositivo experimental

Para realização dos ensaios de cozimento-resfriamento a vácuo foi utilizado um dispositivo montado no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI), no Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (SCHMIDT, ARAGÃO e LAURINDO, 2010).

A Figura 2.6 ilustra este aparato experimental, o qual consiste de um recipiente adaptado (autoclave vertical, marca Phoenix, modelo AV-18, Brasil) onde as amostras foram colocadas para cozimento e posterior resfriamento. Ao recipiente está acoplado um sistema de condensação ligado a uma bomba de vácuo (rotativa, marca DVP, modelo LC 305, Itália), com vazão nominal de $350 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e pressão final de 5 mbar. O condensador de vapor compreende um vaso hermeticamente fechado com uma serpentina no seu interior, pela qual circula água fria (1°C) proveniente de um banho ultratermostático (marca Quimis, modelo Q214M2, Brasil). O conjunto de termopares, utilizados para monitorar a temperatura do meio de aquecimento e das amostras, está conectado a um sistema de aquisição de dados (marca Alten, Brasil). Os termopares utilizados são do tipo “T” (marca IOPE, modelo TX-TF-TF-R-30AWG, Brasil). Os mesmos foram calibrados utilizando um banho termostático (marca Tecnal, modelo Te - 184, Brasil), na faixa de temperatura de 5°C a 95°C . Um termômetro de mercúrio aferido (marca Incoterm, modelo 28368/01, Brasil) foi utilizado como padrão. As curvas de calibração dos termopares estão apresentadas no Apêndice B. O controle da pressão no recipiente, durante os experimentos, foi realizado através de um sensor de pressão (marca Freescale, modelo MPX2102, EUA), ligado a um sistema de aquisição (marca Alten, Brasil).

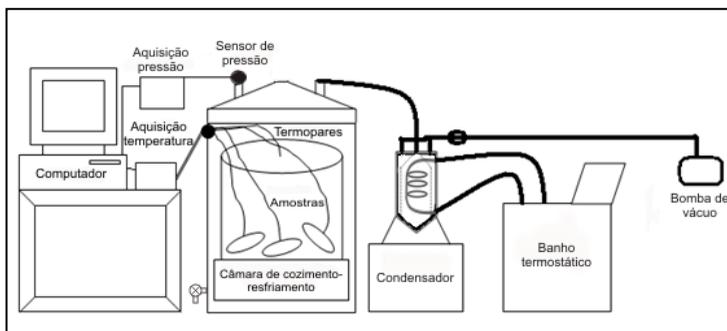


Figura 2.6. Esquema do dispositivo experimental utilizado nos experimentos de cozimento e resfriamento a vácuo de mexilhões.

Fonte: Adaptado de Schmidt, Aragão e Laurindo, (2010).

2.3.3 Experimentos de cozimento

Os experimentos de cozimento foram realizados sob pressão atmosférica. Avaliaram-se dois métodos de cozimento: a vapor (CV) e sob imersão em água (CI).

Com base nas recomendações apresentadas na literatura (VAKILY, 1989; ESPÍNOLA e DIAS, 1980; SÁLAN, 2005) e nos testes realizados em laboratório foram determinados os tempos de cozimento para os processos com vapor e com imersão em água.

Para o *cozimento a vapor*, o recipiente (câmara) foi aquecido até a mistura ar-vapor atingir a temperatura de aproximadamente 100°C. O vapor foi produzido pela água de aquecimento da câmara. Em seguida, as amostras, previamente preparadas, foram colocadas dentro da câmara e cozidas durante 6 minutos. Após o cozimento, as amostras foram retiradas da câmara e conduzidas para as avaliações pré-determinadas.

O *cozimento imerso* foi realizado na câmara de cozimento com água aquecida (temperatura de aproximadamente 100°C), suficiente para cobrir as amostras. Estas foram colocadas dentro da câmara e cozidas durante 8 minutos. Após o cozimento, os mexilhões foram retirados da água de imersão, drenados por 30 segundos e levados para as avaliações pré-determinadas.

Durante os ensaios foram monitorados a temperatura e o tempo de cozimento das amostras. Foram realizados 9 ensaios para cada método de cozimento estudado.

2.3.4 Experimentos de resfriamento a vácuo

O processamento integrado dos mexilhões, ou seja, o cozimento seguido do resfriamento num mesmo equipamento foi estudado de três diferentes formas: o cozimento no vapor seguido do resfriamento a vácuo (CV-RV), o cozimento imerso em água seguido da drenagem da água de cozimento e posterior resfriamento a vácuo (CI-RV) e o cozimento imerso em água seguido do resfriamento a vácuo das amostras imersas na água de cozimento (CI-RVI).

Nos processos integrados *CV-RV* e *CI-RV* o cozimento dos mexilhões foi realizado como descrito no item 2.3.3. No processo integrado *CI-RVI* foram utilizados 2 L de água para imersão das amostras (300 g a 350 g). A água foi aquecida e colocada num recipiente dentro da câmara, também aquecida. Após o sistema (câmara + recipiente com água) atingir a temperatura de aproximadamente 100°C, as amostras foram colocadas na água, o recipiente e a câmara foram fechados e o cozimento iniciado.

Em todos os processos (CV-RV, RI-RV, CI-RVI), após o cozimento, a água da câmara foi drenada e a mesma foi hermeticamente fechada. A bomba de vácuo foi acionada e o sistema foi mantido sob vácuo até que a temperatura das amostras atingisse um valor constante, de aproximadamente 10°C. Em seguida, o vácuo foi interrompido e efetuou-se a abertura da câmara para restabelecer a pressão atmosférica. As amostras foram retiradas e levadas para as avaliações pré-determinadas.

Durante o processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo dos mexilhões foram monitorados a temperatura, o tempo e a pressão de cada ensaio. Para cada alternativa de processo foram realizados 9 ensaios.

2.3.5 Determinações analíticas

2.3.5.1 pH

Para determinação do pH da amostra *in natura* foi utilizado um pHmetro (marca Quimis, modelo Q400A, Brasil). Os mexilhões foram retirados da concha e triturados. O pH foi medido diretamente na mistura formada (aproximadamente 50 g), seguindo a metodologia

proposta pelo Ministério da Agricultura (Brasil, 1981). As medidas foram realizadas em triplicata.

2.3.5.2 Teor de umidade

Os teores de umidade das amostras *in natura*, cozidas e resfriadas para cada experimento realizado foram determinados através de secagem em estufa, com circulação de ar, a 105°C, até peso constante (AOAC, 2000).

2.3.5.3 Textura

A determinação das propriedades mecânicas de textura, mais especificamente da firmeza das amostras de mexilhões, cozidos e resfriados, foi realizada pela medida da força máxima de cisalhamento, utilizando uma célula de Kramer (KSC) acoplada ao texturometro (Stable Micro System, modelo TA.XT2i, Inglaterra) com célula de carga de 500N (Figura 2.7). Os mexilhões foram colocados dentro do suporte para amostra da KSC (aproximadamente 50 g) e submetidos ao ensaio numa velocidade de 3 mm.s⁻¹. As condições de teste (quantidade de amostra, velocidade de teste, célula de carga) foram baseadas nos ensaios com camarões, descritos no *Help* do Texturometro (2006) e trabalhos que utilizaram a KSC (GÓMEZ-ESTACA *et al.*, 2010; DÍAZ *et al.*, 2009). Foram realizadas dez repetições para cada processo avaliado e os resultados foram expressos em N.g⁻¹.

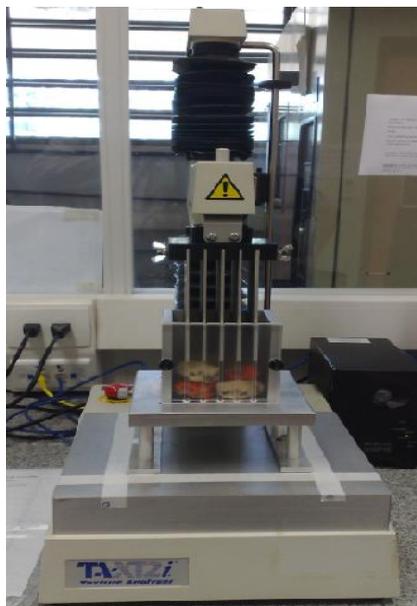


Figura 2.7. Ensaio de textura com a célula de Kramer.

Fonte: Autora (2010).

2.3.5.4 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos (LABCAL) do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, conforme a metodologia da Associação Americana de Saúde Pública (APHA, 2001).

As análises microbiológicas realizadas nos mexilhões frescos e resfriados foram: contagem de coliformes termotolerantes, contagem de estafilococos coagulase positiva, contagem total de psicrófilos e psicrófilos, *Salmonella sp.* e *Vibrio parahaemolyticus*.

As amostras de mexilhões frescos foram levadas para análise em no máximo 5h de coleta e de mexilhões resfriados logo após o processamento (máximo 2h), sendo as mesmas mantidas sob refrigeração até o momento das análises (4 °C).

Também foi realizado um estudo da estabilidade microbiológica dos mexilhões resfriados pelo método alternativo e pelo método

tradicional, armazenados sobre refrigeração (10 °C) durante 10 dias. Foram analisadas amostras no dia 0, 2, 5, 7 e 10, sendo avaliadas a contagem total de mesófilos e contagem total de psicrotróficos.

Os mexilhões frescos e os mexilhões cozidos a vapor e resfriados em água gelada (método tradicional) foram fornecidos pela empresa Cavalo Marinho. Os mexilhões resfriados pelo método tradicional foram coletados no primeiro tanque de resfriamento da linha de produção da empresa. Os mexilhões cozidos a vapor e resfriados a vácuo (método alternativo) foram processados em laboratório, de acordo com item 2.3.4 e 2.3.3. Todas as amostras foram embaladas em sacos estéreis.

2.3.6 Parâmetros do processo

2.3.6.1 Determinação da perda de massa no cozimento

A perda de massa percentual no cozimento foi calculada a partir da diferença entre o teor de umidade da amostra crua e o teor de umidade da amostra cozida (Equação 2.4).

$$\%PMC = \frac{x_i - x_c}{x_i} . 100 \quad (2.4)$$

onde *PMC* é a perda de massa no cozimento, x_i é o teor de umidade inicial da amostra *in natura* (g água.g sólidos secos⁻¹) e x_c é o teor de umidade da amostra após o cozimento (g água.g sólidos secos⁻¹). O teor de umidade das amostras cozidas foi obtido em ensaios onde apenas a fase de cozimento foi considerada.

2.3.6.2 Determinação da perda de massa efetiva no processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo

A perda de massa percentual efetiva foi calculada a partir da diferença entre o teor de umidade da amostra crua e o teor de umidade da amostra resfriada (Equação 2.5).

$$\%PME = \frac{x_i - x_r}{x_i} . 100 \quad (2.5)$$

onde PME é a perda de massa efetiva, x_r é o teor de umidade da amostra após o resfriamento (g água.g sólidos secos⁻¹) e x_i é o teor de umidade inicial da amostra *in natura* (g água.g sólidos secos⁻¹).

2.3.6.3 Determinação da perda de massa no resfriamento a vácuo

A determinação da perda de massa percentual durante o resfriamento a vácuo foi calculada a partir da diferença entre o teor de umidade da amostra cozida e o teor de umidade da amostra resfriada (Equação 2.6).

$$\%PMR = \frac{x_c - x_r}{x_c} .100 \quad (2.6)$$

onde PMR é a perda de massa no resfriamento, x_r é o teor de umidade da amostra após o resfriamento (g água.g sólidos secos⁻¹) e x_c é o teor de umidade da amostra após o cozimento (g água.g sólidos secos⁻¹).

Em todas as etapas do processo, o cálculo da perda de massa foi realizado a partir do teor de umidade em base seca, desta forma a perda de massa refere-se à perda de água.

3.3.7 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se o *software* Statistica (StatSoft, versão 7.0, USA). Os valores de perda de massa, teor de umidade e textura para cada processo estudado foram avaliados através da Análise de Variância (*one-way* ANOVA) ao nível de probabilidade de 95%. No caso de efeitos significativos ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O texto a seguir apresenta as propriedades físico-químicas da matéria-prima utilizada nos experimentos e os resultados dos ensaios de cozimento e das diferentes alternativas de cozimento-resfriamento a vácuo de mexilhões avaliadas.

2.4.1 Propriedades físico-químicas dos mexilhões *in natura*

O valor médio do pH dos mexilhões *in natura* foi de $6,4 \pm 0,1$, podendo os mesmos serem considerados como alimentos de baixa acidez ($\text{pH} \geq 4,5$) (STUMBO, 1973; ORDÓÑEZ-PEREDA, 2005). De acordo com o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA (BRASIL, 1980) os limites máximos para o pH do pescado fresco é de 6,5 na parte interna e de 6,8 na parte externa. Como não há legislação específica para os valores de pH dos mexilhões, estes limites podem ser indicativos. Nos trabalhos realizados por Furlan (2004) e Salán (2005), os valores de pH dos mexilhões *in natura* foram de 6,46 e 6,28, respectivamente. Portanto, os valores encontrados estão em conformidade com os apresentados na literatura.

Os mexilhões *in natura* apresentaram um alto teor de umidade, $0,81 \pm 0,01$ (g água.g amostra⁻¹), estando de acordo com os valores encontrados por outros pesquisadores. Salán (2005), em seu estudo com mexilhões (*Perna perna*) oriundos de Ubatuba-SP, encontrou um teor de umidade de 0,83 (g água.g amostra⁻¹). Outros autores que desenvolveram estudos com mexilhões provenientes também de Ubatuba-SP encontraram valores de 0,84 (g água.g amostra⁻¹) (PORRELLI, 2003 *apud* CORDEIRO, 2005) e 0,86 (g água.g amostra⁻¹) (CORDEIRO, 2005).

As diferenças entre os valores do pH e do teor de umidade reportados na literatura e nos estudos realizados se devem à variabilidade da amostra. Parisenti, Tramonte e Faccin (2008) avaliaram amostras de mexilhões (*Perna perna*) coletadas em diferentes estações do ano, diferenciando as mesmas em machos e fêmeas, e encontraram diferenças significativas na composição centesimal de machos e fêmeas, tanto para os coletados no verão como na primavera.

Os valores de pH e do teor de umidade dos mexilhões *in natura* caracterizam-nos como um alimento bastante susceptível à deterioração,

logo a vida útil destes moluscos crus é muito reduzida, sendo necessário resfriar ou processar os mesmos no menor tempo possível, após a coleta.

O tamanho médio dos mexilhões *in natura* utilizados nos ensaios foi de 7 a 9 cm de comprimento (com concha), tamanho comercial adequado, atingido em 6 a 8 meses de cultivo.

2.4.2 Cozimento

No cozimento a vapor, o tempo de processo foi de 6 minutos e a temperatura final média dos mexilhões foi de 98,3°C. Para o cozimento imerso, o tempo foi de 8 minutos e a temperatura final média dos mexilhões foi de 99,4°C. Pigott e Tucker (1990) relatam que o procedimento de aumentar a temperatura interna dos alimentos para 66°C é normalmente suficiente para tornar o alimento seguro para o consumo. No presente trabalho, foram atingidas temperaturas de aproximadamente 100°C.

As Figuras 2.8 e 2.9 representam curvas típicas do processo de cozimento de mexilhões no vapor e sob imersão em água, respectivamente. As curvas $T_{\text{mexilhão } 1}$, $T_{\text{mexilhão } 2}$ e $T_{\text{mexilhão } 3}$ representam os perfis de tempo-temperatura de três mexilhões da amostra, nos quais os termopares foram inseridos. No início do cozimento, as curvas $T_{\text{mexilhão } 1}$, $T_{\text{mexilhão } 2}$ e $T_{\text{mexilhão } 3}$ seguem próximas mas, no decorrer do processo, as mesmas se afastam, provavelmente porque a concha dos mexilhões vai se abrindo, modificando a transferência de calor no interior da mesma, até atingirem a temperatura de equilíbrio, no final do processo. Na Figura 2.8, a curva $T_{\text{ar-vapor}}$ representa a temperatura da mistura ar-vapor no interior da câmara durante o cozimento. A depressão observada nesta curva, no início do processo, ocorre devido à saída da mistura ar-vapor no momento da abertura da câmara, ao colocar as amostras para cozinhar. Para o experimento representado na Figura 2.8, a temperatura inicial média dos mexilhões foi de 11,1°C e a temperatura final média foi de 97,6°C. Na Figura 2.9, a curva $T_{\text{água}}$ representa a temperatura da água de cozimento. Para o experimento representado nesta Figura, a temperatura inicial média dos mexilhões foi de 7,3°C e a temperatura final média foi de 99,7°C.

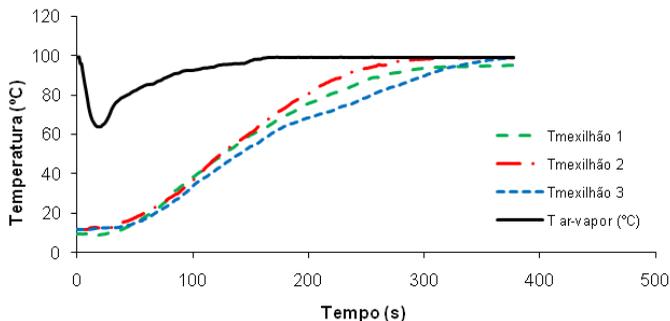


Figura 2.8. Perfis de temperatura de três mexilhões durante o cozimento a vapor ($T_{\text{mexilhão 1}}$, $T_{\text{mexilhão 2}}$, $T_{\text{mexilhão 3}}$); Tar-vapor = temperatura da mistura ar-vapor no interior da câmara.

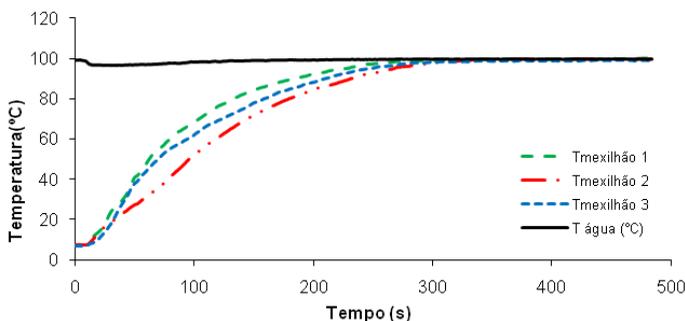


Figura 2.9. Perfis de temperatura de três mexilhões durante o cozimento imerso em água ($T_{\text{mexilhão 1}}$, $T_{\text{mexilhão 2}}$, $T_{\text{mexilhão 3}}$); T água = temperatura da água de cozimento.

A Tabela 2.1 apresenta os valores médios do teor de umidade e da perda de massa para mexilhões cozidos no vapor e cozidos imersos em água, à pressão atmosférica.

Tabela 2.1. Teor de umidade e perda de massa dos mexilhões cozidos no vapor e imersos em água.

Cozimento*	Teor de umidade mexilhões crus (g água. g sólidos secos-1)	Teor de umidade mexilhões cozidos (g água. g sólidos secos-1)	Perda de massa (%)
Vapor	4,4±0,3a	2,59±0,17a	42,6±1,9a
Imerso	4,4±0,3a	2,65±0,13a	43,8±2,5a

* Médias na mesma coluna com letras diferentes são significativamente diferentes ($P < 0,05$).

Os valores médios do teor de umidade determinados para os mexilhões cozidos a vapor e cozidos imersos em água foram significativamente semelhantes. No entanto, as amostras cozidas imersas em água apresentaram um teor de umidade médio maior do que àquelas cozidas no vapor, pois no cozimento imerso em água, esta pode ficar aderida às amostras. Salán (2005) verificou para mexilhões cozidos no vapor por 5 minutos um teor de umidade de $3,9 \text{ (g água.g sólidos secos}^{-1}\text{)}$ enquanto que para os mexilhões cozidos imersos, também por 5 minutos, o teor de umidade foi de $4,0 \text{ (g água.g sólidos secos}^{-1}\text{)}$. Os valores do presente trabalho diferem daqueles encontrados por Salán (2005), provavelmente pelas condições de processo utilizadas em cada experimento. O referido autor realizou o cozimento em panela sob chama, enquanto que os experimentos deste estudo foram numa autoclave adaptada. As diferenças também são devidas à variabilidade da amostra.

Quanto à perda de massa, para o cozimento a vapor as amostras cozidas tiveram uma redução de 42,6% em relação às amostras cruas, enquanto para o cozimento imerso obteve-se um valor de 43,8%, não sendo observadas diferenças significativas entre os valores. Essa redução na massa se deve à perda de água, devido à desnaturação das proteínas pela ação do calor (FENNEMA, 1996; NIAMNUY *et al.*, 2008). Sikorski (1994) relata que os produtos de pesca em geral apresentam uma perda de massa que oscila entre 10 e 30%, dependendo da espécie, conteúdo de gordura, grau de frescor e parâmetros aplicados durante o aquecimento.

A literatura não apresenta estudos específicos sobre a perda de massa no cozimento de mexilhões, apenas alguns relatos sobre o rendimento da carne cozida em relação aos mexilhões *in natura*. Salán (2005) relata um maior rendimento para os mexilhões cozidos a vapor por cinco minutos (29,7%) do que para mexilhões cozidos imersos em água por cinco minutos (24,6%).

2.4.3 Resfriamento a vácuo

Os parâmetros determinados para as três alternativas de processo de cozimento-resfriamento estudadas (cozimento no vapor-resfriamento a vácuo, CV-RV; cozimento imerso em água-resfriamento a vácuo, CI-RV; cozimento imerso em água-resfriamento a vácuo imerso na água de cozimento, CI-RVI) estão apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Parâmetros do processo integrado de cozimento e resfriamento a vácuo de mexilhões.

Parâmetros	Cozimento-Resfriamento*		
	CV-RV	CI-RV	CI-RVI
Perda de massa no cozimento (%)	42,6±1,9 ^a	43,8±2,5 ^a	43,8±2,5 ^a
Perda de massa efetiva (%)	51,6±1,5 ^a	48,8±4,4 ^b	22,7±4,5 ^c
Perda de massa no resfriamento (%)	15,4±2,4 ^a	13,3±3,5 ^a	-28,9±3,8 ^b
ΔT (°C)	85,1± 1,4 ^{a,b}	85,2 ± 0,6 ^b	86,9 ± 0,6 ^a
η_T (°C/1%)	5,5	6,4	-**
Tempo de resfriamento (min)	12,1±0,2 ^a	12,1±0,2 ^a	64,2±0,8 ^b
Teor de umidade mexilhões resfriados (g água.g sólidos secos⁻¹)	2,25±0,15 ^a	2,30±0,10 ^a	3,43±0,12 ^b

* CV-RV: cozimento a vapor-resfriamento a vácuo; CI-RV: cozimento imerso em água-resfriamento a vácuo; CI-RVI: cozimento imerso em água-resfriamento a vácuo imerso em água; médias na mesma linha com letras diferentes são significativamente diferentes (P<0,05); ** Para o processo CI-RVI não foi calculado η_T (redução média de temperatura por 1% de perda de massa), pois obteve-se um ganho de massa.

A perda de massa efetiva (processo integrado de cozimento-resfriamento) foi significativamente diferente para os três processos avaliados, porém a diferença entre os processos CV-RV e CI-RV é pequena comparada ao processo CI-RVI, pois nos dois primeiros o resfriamento segue o mesmo procedimento, sendo a perda de massa efetiva influenciada pelo método de cozimento, pela variabilidade das amostras e imprecisões experimentais. Por outro lado, a perda de massa efetiva do processo CI-RVI (22,7%) é menor em relação aos processos CV-RV (51,6%) e CI-RV (48,8%). Uma menor perda de massa efetiva para o CI-RVI era esperada, pois todo o processo foi realizado com as amostras imersas em água, o que reduz a perda de água durante o resfriamento a vácuo. Nesse caso, parte da água evaporada durante a aplicação do vácuo é reincorporada aos mexilhões pelo processo de impregnação a vácuo, quando a pressão atmosférica é restabelecida na câmara, conforme discutido a seguir.

Quanto à perda de massa percentual no resfriamento, para o resfriamento a vácuo das amostras cozidas no vapor (CV-RV) a perda de massa média no resfriamento (15,4%) foi maior em relação à perda de massa média do resfriamento (13,3%) no processo de cozimento imerso seguido da drenagem da água de cozimento e posterior resfriamento a vácuo (CI-RV), apesar de estatisticamente semelhantes.

Essa diferença na perda de massa do resfriamento a vácuo é provavelmente devido às condições do cozimento, anterior ao resfriamento. No cozimento imerso, mesmo após a drenagem da água de cozimento, as amostras retêm um pouco da água do cozimento tanto nas conchas quanto na superfície dos mexilhões. Assim, o resfriamento acontece não só pela evaporação da água do produto, mas também pela água em excesso sobre sua superfície, resultando num produto resfriado com maior teor de umidade. Apesar dos valores médios do teor de umidade (Tabela 2.2) dos mexilhões processados pelo CV-RV (2,25 g água.g sólidos secos⁻¹) não diferem significativamente daqueles processados pelo CI-RV (2,30 g água.g sólidos secos⁻¹).

No cozimento imerso seguido do resfriamento a vácuo das amostras imersas na água de cozimento (CI-RVI), um ganho de massa de 28,9% foi observado, indicando que houve uma impregnação da água de cozimento na amostra durante o resfriamento, mais especificamente na etapa de restabelecimento da pressão atmosférica. Essa impregnação é explicada pelo mecanismo hidrodinâmico resultante dos gradientes macroscópicos de pressão, que conduzem a impregnação dos poros da amostra pela água de imersão (FITO, 1994). Consequentemente, ocorreu um aumento da umidade da amostra resfriada (3,43 g água.g sólidos secos⁻¹) em relação à cozida (2,65 g água.g sólidos secos⁻¹).

Com relação à redução média de temperatura por percentual de perda de massa (η_T), parâmetro pelo qual a eficiência do resfriamento a vácuo pode ser avaliada, o processo CI-RV apresentou um valor de η_T igual a 6,4°C/1%, superior ao do processo CV-RV, para o qual o valor de η_T foi de 5,5°C/1%. Huber (2004) relata um valor de 9°C/1% para o resfriamento a vácuo de mexilhões cozidos no vapor, enquanto Schmidt, Aragão e Laurindo (2010) obtiveram para o processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo de cortes de peito de frango valores de η_T de 6,8°C/1% e 8°C/1% para os processos CV-RV e CI-RV, respectivamente. Os valores de η_T encontrados no presente trabalho foram inferiores aos verificados pelos autores citados anteriormente.

Para o processo CI-RVI não foi realizado o cálculo de η_T , pois no presente trabalho ocorreu um ganho de massa e não perda de massa, como nos demais processos, o que é interessante para o beneficiamento dos mexilhões. Porém, o tempo de resfriamento foi muito maior para este processo (64 minutos), enquanto que para o CV-RV e o CI-RV o tempo médio de resfriamento foi de aproximadamente 12 minutos. Isto porque no processo CI-RVI o resfriamento da amostra ocorre conjuntamente com o resfriamento de toda a massa de água (2 L) onde os mexilhões (300 g a 350 g) estão imersos. A comparação entre os

tempos de resfriamento para as três variações no processo de cozimento-resfriamento a vácuo de mexilhões pode ser observada na Figura 2.10.

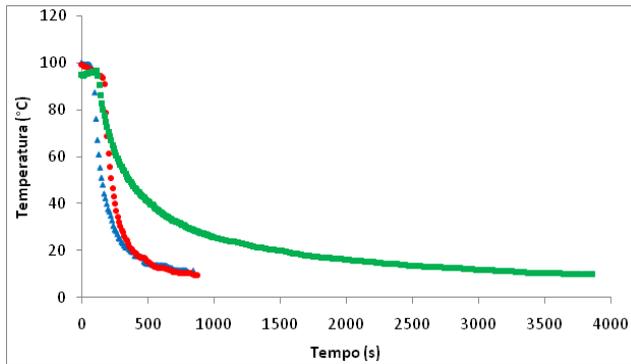


Figura 2.10. Perfis de tempo-temperatura para o período de resfriamento a vácuo de um ensaio experimental representativo de cada método integrado de cozimento-resfriamento a vácuo avaliado (▲ Cozimento a vapor-Resfriamento a vácuo; ● Cozimento imerso-Resfriamento a vácuo; ■ Cozimento imerso-Resfriamento a vácuo imerso).

O resfriamento a vácuo tem como uma das suas principais vantagens o reduzido tempo de resfriamento. Diversos autores mostraram que o resfriamento a vácuo, quando comparado com métodos tradicionais de resfriamento de alimentos, permite atingir temperaturas de resfriamento num período relativamente menor. Entre alguns trabalhos destacam-se o de Drumond *et al.* (2009) que compararam resfriamento a vácuo (RV), resfriamento a vácuo imerso (RVI) e resfriamento com ar forçado em cortes de carne cozida e observaram que o tempo de resfriamento do RVI foi mais lento do que para o RV e mais rápido para o processo com ar forçado. Outras pesquisas descrevem que carnes cozidas podem ser resfriadas de 70-74°C a 4°C em 1 a 2,5h sob condições de vácuo, em 9,4 a 11,7h com ar forçado (DESMOND *et al.*, 2000; SUN e WANG, 2000; McDONALD *et al.*, 2001; McDONALD e SUN, 2001b) e 5 a 14,3h com imersão em água (SUN e WANG, 2000; McDONALD *et al.*, 2001).

No trabalho desenvolvido por Huber *et al.* (2006) sobre a aplicação do resfriamento a vácuo a mexilhões cozidos no vapor, foi verificado que, para um decréscimo médio de temperatura de 70 °C, o tempo de resfriamento foi de 7 minutos e a perda de massa foi de aproximadamente 8%. No presente trabalho, para um decréscimo médio de temperatura de 85 °C em 12 minutos, a perda de massa foi de 15,4%.

A variação entre os resultados obtidos nas duas pesquisas pode ser explicada pelas diferentes quantidades de mexilhões utilizadas, pelo diferente volume da câmara de vácuo, pela bomba de vácuo de diferente velocidade de bombeamento, e também porque o processo aplicado na atual pesquisa foi realizado de forma integrada, ou seja, o resfriamento foi realizado no mesmo aparato experimental do cozimento, sendo necessário um tempo para evacuar a massa de vapor gerada durante o cozimento mais um tempo para reduzir a temperatura do produto. Além disso, as amostras estavam expostas ao calor irradiado da câmara, o que pode influenciar no resfriamento das mesmas.

Nas pesquisas realizadas por Schmidt, Aragão e Laurindo (2010) sobre o processo integrado de cozimento-resfriamento de cortes de peito de frango (aproximadamente 200 g), para uma redução na temperatura de 66 °C foram necessários 13 minutos para os processos CV-RV e CI-RV e 47 minutos para o processo CI-RVI. No estudo desenvolvido por Rodrigues (2009) sobre o processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo aplicado a cenouras (aproximadamente 90 g), no processo CV-RV o tempo médio de resfriamento a vácuo foi de 13 minutos para uma diminuição na temperatura de 75 °C. Para o processo CI-RVI o tempo médio do resfriamento a vácuo foi de 24 minutos para uma redução de temperatura das amostras de 70 °C. Os tempos de resfriamento a vácuo dos mexilhões (300 a 350 g) obtidos no presente trabalho foram: 12 minutos para CV-RV e CI-RV para uma redução de temperatura de 85 °C, e 64 minutos para CI-RVI para uma redução de temperatura de 87°C. Deve-se observar que, assim como os produtos, as quantidades dos mesmos, utilizadas em cada trabalho, foram diferentes. Também a quantidade de água no processo CI-RVI: 2L para mexilhões e cortes de peito de frango e 800 mL para cenouras.

As Figuras 2.11, 2.12 e 2.13 apresentam, respectivamente, curvas típicas dos processos de cozimento de mexilhões a vapor seguido do resfriamento a vácuo (CV-RV), cozimento imerso em água seguido da drenagem da água de cozimento e posterior resfriamento a vácuo (CI-RV) e cozimento imerso em água seguido do resfriamento a vácuo das amostras imersas na água de cozimento (CI-RVI). As curvas $T_{\text{mexilhão } 1}$, $T_{\text{mexilhão } 2}$, e $T_{\text{mexilhão } 3}$ representam os perfis de temperatura de três mexilhões da amostra durante o experimento. A curva Tar-vapor representa a evolução da temperatura da mistura ar-vapor no interior da câmara de cozimento-resfriamento no processo CV-RV. A curva Tágua representa a temperatura da água de imersão no processo CI-RV e CI-RVI e a curva P representa o comportamento da pressão no interior da câmara de cozimento-resfriamento no decorrer de cada experimento.

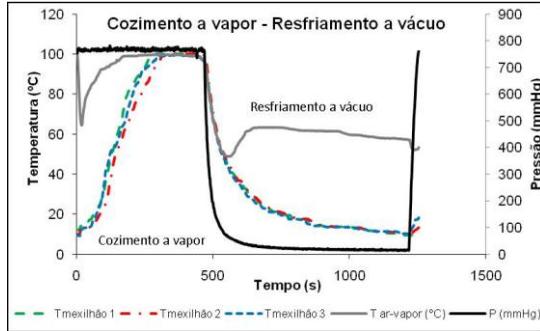


Figura 2.11. Perfis de temperatura de três mexilhões ($T_{\text{mexilhão 1}}$, $T_{\text{mexilhão 2}}$, $T_{\text{mexilhão 3}}$) durante o cozimento a vapor-resfriamento a vácuo; $T_{\text{ar-vapor}}$ = temperatura da mistura ar-vapor no interior do recipiente de cozimento-resfriamento; P = pressão.

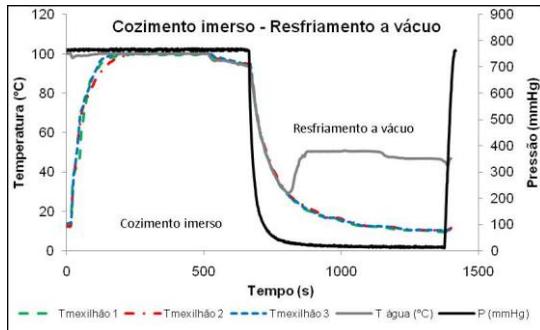


Figura 2.12. Perfis de temperatura de três mexilhões ($T_{\text{mexilhão 1}}$, $T_{\text{mexilhão 2}}$, $T_{\text{mexilhão 3}}$) durante o cozimento imerso em água-resfriamento a vácuo; $T_{\text{água}}$ = temperatura da água de imersão; P = pressão.

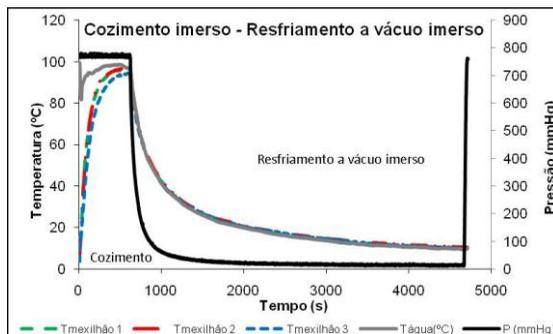


Figura 2.13. Perfis de temperatura de três mexilhões ($T_{\text{mexilhão 1}}$, $T_{\text{mexilhão 2}}$, $T_{\text{mexilhão 3}}$) durante o cozimento imerso-resfriamento a vácuo imerso em água; $T_{\text{água}}$ = temperatura da água de imersão; P = pressão.

Através dos perfis de temperatura dos ensaios realizados é possível visualizar a evolução da mesma durante o cozimento-resfriamento a vácuo. Observou-se, na etapa do resfriamento a vácuo, que a redução da pressão provocou uma rápida diminuição das temperaturas das amostras no início do processo, seguindo gradativamente até a temperatura de 10°C, aproximadamente, para todos os processos avaliados (CV-RV, CI-RV, CI-RVI).

Para os processos CV-RV, a pressão média mínima atingida na câmara de cozimento-resfriamento durante o resfriamento a vácuo foi de 10,0±0,4 mmHg e a temperatura média das amostras no final do resfriamento foi de 9,7±0,1 °C. A temperatura da mistura ar-vapor no interior da câmara (Tar-vapor) diminui até certo ponto, sofrendo um aumento no final do resfriamento. Isto pode estar relacionado à irradiação do calor das paredes da câmara, elevando a temperatura do termopar (Figura 2.11).

Para os processos CI-RV, a pressão média mínima na câmara durante o resfriamento a vácuo foi de 10,6±0,8 mmHg e a temperatura média das amostras foi 10±0 °C no final do resfriamento. Neste processo, a temperatura medida pelo termopar da água também sofre um aumento durante o resfriamento, pois a água foi drenada antes do resfriamento e o termopar ficou exposto à mistura ar-vapor passando pelo mesmo efeito de irradiação citado anteriormente (Figura 2.12).

Para o processo CI-RVI, a pressão mínima durante o resfriamento foi de 10,7±0,1 mmHg e a temperatura média das amostras foi de 10,1±0,1 °C. Contudo, o tempo necessário para atingir esta temperatura foi muito maior que nos demais processos, como visualizado na Figura 2.13 e explicado anteriormente. Apesar disso, esse processo pode ser uma alternativa para o resfriamento de produtos elaborados a base de mexilhões e molhos, pois o resfriamento imerso diminui a perda de massa do produto e permite a impregnação da água e dos solutos nela dissolvidos.

A Tabela 2.3 apresenta os valores relatados anteriormente para pressão e temperatura finais de cada processo e uma comparação com os valores de pressão calculados pela Equação de Antoine.

A Equação de Antoine descreve a relação entre a pressão de vapor e a temperatura de substâncias puras, como da água. Os valores de pressão calculados estão próximos aos valores experimentais (Tabela 2.3), ou seja, o processo de resfriamento a vácuo, que se dá pela evaporação de parte da água do produto, acompanha a curva de saturação da água (Figura 2.1).

Tabela 2.3. Valores médios de temperatura e pressão experimentais e valores de pressão calculados pela Equação de Antoine para os diferentes processos avaliados.

Processo de Cozimento-Resfriamento*	Temperatura experimental (°C)	Pressão experimental (mmHg)	Pressão calculada (mmHg)**
CV-RV	9,6 – 9,8	10,9 ± 0,4	8,8 – 8,9
CI-RV	10,0	10,6 ± 0,8	9,1
CI-RVI	10 – 10,2	10,7 ± 1,1	9,1 – 9,2

* CV-RV: cozimento a vapor-resfriamento a vácuo; CI-RV: cozimento imerso-resfriamento a vácuo; CI-RVI: cozimento imerso-resfriamento a vácuo imerso; ** Equação de Antoine: $\log_{10} P_{\text{vapor saturado}} = A - (B/(T+C))$; Para a água: A=7,96681; B=1668,21; C=228,0 (MACDONALD e SUN, 2000; SUN e ZHENG, 2006).

A Tabela 2.4 apresenta os resultados obtidos para a força máxima de cisalhamento (firmeza) das amostras de mexilhões cozidos e resfriados a vácuo. Os valores da firmeza para as amostras processadas por CV-RV e CI-RV foram estatisticamente semelhantes. Para as amostras processadas pelo CI-RVI a firmeza foi significativamente diferente e menor daquelas submetidas aos processos CV-RV e CI-RV. Essa diferença está associada ao teor de umidade das amostras resfriadas imersas em água, o qual foi superior aos demais processos.

Tabela 2.4. Valores da firmeza e do teor de umidade dos mexilhões cozidos e resfriados a vácuo.

Processo de Cozimento-Resfriamento*	Firmeza (N. g ⁻¹)	Teor de umidade dos mexilhões resfriados (g água.g sólidos secos ⁻¹)
CV-RV	5,0±0,3 ^a	2,25±0,15 ^a
CI-RV	4,9±0,5 ^a	2,30±0,10 ^a
CI-RVI	4,0±0,3 ^b	3,43±0,12 ^b

* CV-RV: cozimento a vapor-resfriamento a vácuo; CI-RV: cozimento imerso-resfriamento a vácuo; CI-RVI: cozimento imerso-resfriamento a vácuo imerso; * Médias na mesma coluna com letras diferentes são significativamente diferentes (P<0,05).

Para a validação do processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo foi realizado o cálculo da letalidade do processo (F_{processo}) e da letalidade requerida para o processo ($F_{\text{requerido}}$) para cada alternativa de cozimento-resfriamento a vácuo avaliada, de acordo com

as equações apresentadas no Apêndice A.

Para o cálculo de $F_{\text{requerido}}$ e de F_{processo} é necessário definir um micro-organismo relacionado ao produto para obter-se os parâmetros D e z . O micro-organismo selecionado para a presente validação pertence ao gênero *Pseudomonas*. Estas bactérias fazem parte da microbiota natural de moluscos marinhos e desenvolvem-se em temperaturas de refrigeração, sendo as principais deteriorantes. Os valores de $D_{60^{\circ}\text{C}}$ e z para a *Pseudomonas fluorescens* são 3,2 minutos e $7,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente (STUMBO, 1973; TUCKER e FEATHERSTONE, 2010). Para obter-se o valor de $D_{100^{\circ}\text{C}}$ utilizou-se a Equação A.5 do Apêndice A. O valor de $D_{100^{\circ}\text{C}}$ calculado foi $1,5 \cdot 10^{-5}$ minutos.

Para fins de comparação, também foram efetuados os cálculos para o *Clostridium botulinum tipo E*, presente em peixes e frutos do mar (BREMNER, FLETCHER e OSBORNE, 2003). Estes micro-organismos são anaeróbios, não-proteolíticos e seus esporos são psicrotróficos, sendo capazes de germinar e crescer em temperaturas tão baixas quanto 3°C (SCHIMDT *et al.*, 1961 *apud* SILVA e GIBBS, 2010). Juneja *et al.* (1995) determinaram a resistência térmica dos esporos de *Clostridium botulinum tipo E*, em tampão fosfato, sendo que os valores de D , na temperatura de 80°C , variaram de 1,03 a 4,51 minutos e os valores de z variaram de $8,35$ a $10,08^{\circ}\text{C}$. O valor de $D_{100^{\circ}\text{C}}$ calculado foi $4,7 \cdot 10^{-2}$ minutos, equivalente a $D_{80^{\circ}\text{C}} = 4,51$ min para $z = 10,08^{\circ}\text{C}$ (Equação A.5 do Apêndice A).

Para determinação de $F_{\text{requerido}}$ (Eq. A.2) foram consideradas 6 reduções decimais (FORSYTHE, 2002). O cálculo de F_{processo} foi realizado a partir dos dados de tempo e temperatura do processo (Eq. A.3 e Eq. A.4).

A Tabela 2.5 apresenta os valores da letalidade integrada (F_{processo}) e da letalidade requerida para o processo ($F_{\text{requerido}}$) para cada alternativa de cozimento-resfriamento a vácuo avaliado. O valor de F_{processo} , na Tabela 2.5, representa a média de cinco repetições, para o mexilhão que apresentou temperaturas menores durante cada ensaio.

Os valores da letalidade do processo (F_{processo}) obtidos para os três processos de cozimento-resfriamento a vácuo foram suficientes ($F_{\text{processo}} > F_{\text{requerido}}$) para destruir micro-organismos patogênicos e deteriorantes mais sensíveis ao calor, atingindo o objetivo do processamento. No entanto, após o cozimento-resfriamento, os mexilhões devem ser desconchados o mais rápido possível e armazenados sob refrigeração para retardar o crescimento de qualquer micro-organismo sobrevivente.

Tabela 2.5. Valores de $F_{\text{requerido}}$ e de F_{processo} para o processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo.

Processo de Cozimento-Resfriamento	<i>Pseudomonas fluorescens</i>		<i>Clostridium botulinum tipo E</i>	
	F_{processo} (min)	$F_{\text{requerido}}^*$ ($\times 10^5$ min)	F_{processo} (min)	$F_{\text{requerido}}^*$ (min)
CV-RV	0,6 ± 0,3	9,0	0,9 ± 0,4	0,3
CI-RV	4,0 ± 0,7	9,0	4,6 ± 0,7	0,3
CI-RVI	1,0 ± 0,2	9,0	1,6 ± 0,4	0,3

CV-RV: cozimento a vapor-resfriamento a vácuo; CI-RV: cozimento imerso-resfriamento a vácuo; CI-RVI: cozimento imerso-resfriamento a vácuo imerso; * $F_{\text{requerido}}$ calculado com base nos valores de $D_{100^\circ\text{C}} = 1,5 \times 10^{-5}$ e $z = 10^\circ\text{C}$ para *P. Fluorescens* e de $D_{100^\circ\text{C}} = 4,7 \times 10^{-2}$ e $z = 10,08^\circ\text{C}$ para *C. botulinum tipo E*, considerando 6 reduções decimais.

A Tabela 2.6 apresenta os resultados das análises microbiológicas para mexilhões frescos e processados. Os mexilhões foram processados pelo método tradicional, ou seja, cozimento a vapor seguido do resfriamento imerso em água gelada (CV-RI) e pelo método alternativo de cozimento a vapor-resfriamento a vácuo (CV-RV).

Tabela 2.6. Resultados das análises microbiológicas de mexilhões frescos e processados.

Micro-organismos	Mexilhões frescos (<i>in natura</i>)	Mexilhões processados (CV-RV)	Mexilhões processados (CV-RI)
<i>Salmonella sp</i> (25g)	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes termotolerantes (45°C) (NMP.g ⁻¹)	1,1 x 10 ²	< 1,8	< 1,8
Estafilococos coagulase positiva (UFC.g ⁻¹)	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹
Contagem total de psicrotróficos (UFC.g ⁻¹)	1,3 x 10 ³	< 1,0 x 10 ²	< 1,0 x 10 ²
Contagem total de psicrófilos (UFC.g ⁻¹)	1,0 x 10 ²	< 1,0 x 10 ²	< 1,0 x 10 ²
<i>Vibrio parahaemolyticus</i> (NMP. g ⁻¹)	< 3	< 3	< 3

*CV-RV: cozimento a vapor-resfriamento a vácuo; CV-RI: cozimento a vapor-resfriamento imerso em água gelada; NMP = Número mais provável; UFC = unidade formadora de colônia. Os valores das colunas CV-RV e CV-RI representam os limites de detecção da metodologia (APHA, 2001).

A legislação brasileira (BRASIL, 2001) estabelece para mexilhões *in natura* valores para contagem de estafilococos coagulase positiva menores que 10^3 UFC.g⁻¹ e ausência de *Salmonella sp*, e para mexilhões cozidos e resfriados acrescenta às análises anteriores a contagem de coliformes termotolerantes, cujo valor deve ser menor que 50 NMP.g⁻¹. Desta forma, tanto os mexilhões frescos quanto os processados estão de acordo com os limites estabelecidos pela legislação. Observou-se que, tanto as amostras processadas por CV-RV como por CV-RI apresentaram as contagens de coliformes termotolerantes, psicrotróficos e psicrofílicos reduzidas em relação ao mexilhões frescos, bem como a ausência de *Salmonella sp* e *Vibrio parahaemolyticus*, não havendo diferença nos valores encontrados para os mexilhões processados pelos diferentes métodos.

As Figuras 2.14 e 2.15 representam as contagens de micro-organismos mesófilos e psicrotróficos, respectivamente, durante o armazenamento refrigerado (10° C) de mexilhões processados pelo método alternativo e pelo método tradicional. A contagem total de micro-organismos psicrotróficos foi de $3,0 \times 10^2$ UFC.g⁻¹ antes do processamento (mexilhões frescos) e depois do cozimento e do resfriamento, as contagens foram menores do que $1,0 \times 10^2$ UFC.g⁻¹ em mexilhões processados tanto pelo método alternativo quanto pelo método tradicional. A contagem total de micro-organismos mesófilos foi reduzida de $3,0 \times 10^2$ UFC.g⁻¹ nos mexilhões frescos para $2,2 \times 10^1$ UFC.g⁻¹ (batelada 1) e $1,2 \times 10^2$ UFC.g⁻¹ (batelada 2) nas amostras processadas pelo método alternativo (CV-RV); e para $2,9 \times 10^2$ UFC.g⁻¹ (batelada 1) e $2,2 \times 10^2$ UFC.g⁻¹ (batelada 2) nas amostras processadas pelo método tradicional (CV-RI).

Durante a estocagem refrigerada foi observado, para a contagem total de mesófilos (Figura 2.14), um aumento crescente destes micro-organismos, sendo mais expressivo nas amostras processadas pelo método tradicional, as quais atingiram valores da ordem de 10^6 UFC.g⁻¹ no quinto dia do acompanhamento microbiológico, enquanto, para esse mesmo período, a contagem nas amostras processadas pelo método alternativo foi da ordem de 10^2 UFC.g⁻¹. Para contagem total de psicrotróficos (Figura 2.15) observou-se que os valores para as amostras processadas pelo método alternativo foram praticamente constantes no decorrer da estocagem, da ordem de 10^2 UFC.g⁻¹, enquanto para as amostras processadas pelo método tradicional, os valores aumentaram crescentemente, atingindo valores da ordem de 10^8 UFC.g⁻¹ no final do período avaliado. Desta forma, diferenças entre os processos avaliados (CV-RV e CV-RI) foram encontradas para as contagens de mesófilos e

psicrotróficos, sendo que as amostras resfriadas a vácuo apresentaram valores bem menores do que aquelas resfriadas por imersão em água gelada, a partir do segundo dia de estocagem.

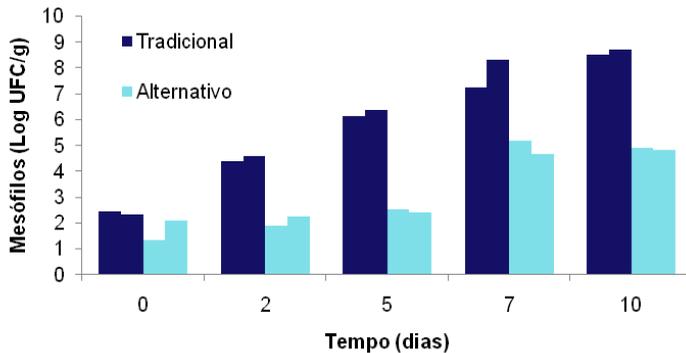


Figura 2.14. Contagem total de mesófilos em mexilhões cozidos a vapor, resfriados a vácuo (método alternativo) e resfriados por imersão em água gelada (método tradicional), durante 10 dias de armazenamento refrigerado (10 °C).

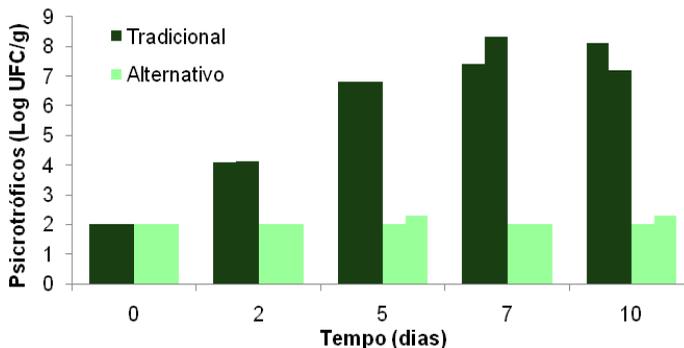


Figura 2.15. Contagem total de psicrotróficos em mexilhões cozidos a vapor, resfriados a vácuo (método alternativo) e resfriados por imersão em água gelada (método tradicional), durante 10 dias de armazenamento refrigerado (10 °C).

A legislação brasileira não estabelece limites para a contagem de bactérias mesófilas e psicrotróficas em pescados, porém sabe-se que populações elevadas podem reduzir a vida útil de pescados (KIRSCHINK e VIEGAS, 2004). Alguns pesquisadores consideram crítica a contagem de mesófilos acima de 10^6 UFC.g⁻¹ em pescados, mesmo não apresentando alterações visíveis (LIRA *et al.*, 2001). A

contagem de psicotróficos de 10^6 UFC.g⁻¹ significa que o alimento ainda não está deteriorado, mas está no limite para o início desse processo. Ao ultrapassar esse limite, a degradação é muito rápida, atingindo níveis de 10^8 UFC.g⁻¹ (FRANÇA FILHO *et al.*, 2006). Com base nesses valores, observa-se que as amostras processadas pelo método alternativo apresentaram qualidade microbiológica satisfatória durante os 10 dias avaliados, enquanto para as amostras processadas pelo método tradicional a qualidade manteve-se por apenas 5 dias. McDonald, Sun and Kenny (2000) avaliaram a qualidade microbiológica de carnes cozidas resfriadas a vácuo e sob imersão em água e observaram que as amostras resfriadas a vácuo tiveram contagens de mesófilos significativamente menores depois de 7 dias de estocagem.

Lima (2010) avaliou as condições do processamento tradicional de mexilhões *Perna perna* em uma indústria de pequeno porte, através de análises microbiológicas na água e no gelo usados no resfriamento e nos mexilhões ao longo das etapas de processamento até o produto final. As condições microbiológicas da água e do gelo utilizados no processamento apresentaram-se impróprias para o uso em alimentos, de acordo com a legislação brasileira. A contagem de psicotróficos foi da ordem de 10^5 UFC.g⁻¹ e de 10^2 UFC.g⁻¹ para a água e para o gelo, respectivamente. O que pode explicar a elevada contaminação por estes micro-organismos na amostra resfriada pelo método tradicional. A autora verificou ainda a presença de *Vibrio sp* na água de resfriamento e, conseqüentemente, a recontaminação dos mexilhões cozidos, por este micro-organismo, na etapa de resfriamento.

2.5 CONCLUSÕES

O processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo de mexilhões possibilitou o estudo de três alternativas de processo: cozimento a vapor-resfriamento a vácuo (CV-RV); cozimento imerso-resfriamento a vácuo (CI-RV) e cozimento imerso-resfriamento a vácuo imerso (CI-RVI)

Os processos integrados de cozimento a vapor-resfriamento a vácuo e de cozimento imerso-resfriamento a vácuo são semelhantes em termos da perda de massa no resfriamento e do tempo de resfriamento. Por outro lado, o processo integrado de cozimento imerso-resfriamento a vácuo imerso na água de cozimento proporciona um ganho de massa no resfriamento à custa do aumento do tempo de resfriamento.

Desta forma, se o objetivo é reduzir o tempo de processamento, independente da perda de massa, os processos CV-RV e CI-RV são indicados. Como estes dois processos não diferem na etapa de resfriamento, pode optar-se pelo CV-RV, pois o cozimento a vapor apresenta vantagens já comprovadas em relação ao cozimento imerso em água. Por outro lado, o processo CI-RVI pode ser empregado quando a perda de massa é indesejável, tendo a possibilidade de resfriar os mexilhões, desconchados ou não, em salmoura ou molhos temperados.

Quanto à textura, avaliada instrumentalmente, os mexilhões resfriados a vácuo apresentaram-se mais firmes do que aqueles resfriados a vácuo imersos em água. No entanto, uma avaliação sensorial seria necessária para complementar a análise instrumental e para verificar a aceitabilidade pelos consumidores.

O processo integrado de cozimento-resfriamento a vácuo mostrou-se satisfatório quanto aos parâmetros de tratamento térmico calculados. Para todas as alternativas de processo avaliadas a letalidade do processo foi maior que a letalidade requerida, ou seja, os processos foram suficientes para destruir e/ou inativar micro-organismos deteriorantes.

Os resultados das análises microbiológicas das amostras processadas pelo cozimento a vapor-resfriamento a vácuo apresentaram-se em conformidade com a legislação brasileira. Durante o armazenamento refrigerado, as amostras resfriadas a vácuo apresentaram melhor estabilidade microbiológica durante o período avaliado do que aquelas resfriadas por imersão em água gelada.

Os resultados obtidos mostram a possibilidade de integrar os processos de cozimento e resfriamento a vácuo de mexilhões num mesmo equipamento, visando reduzir a manipulação excessiva durante o

processamento destes moluscos. No entanto, a indicação como uma técnica viável requer estudos complementares das propriedades de textura e demais características sensoriais e da vida útil do produto processado.

REFERÊNCIAS

ACKER, R., BALL, K. M. J. Modulated vacuum cooling and vacuum treatment of bakery products. **Getreide Mehl und Brot**, v. 31, p. 134–138, 1977.

AFONSO, M. R. A. **Resfriamento a vácuo de alfaces hidropônicas (*Lactuca sativa* L.) cv. Salad Bowl: avaliação do processo e da vida pós-colheita**. 2005. 227 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

ANTONIOLLI, M. A. **Vida útil do mexilhão *Perna perna* (L) processado e mantido sob refrigeração**. 1999. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 17 ed., Washington, 2000.

APATI, G. P. **Secagem e resfriamento a vácuo de cogumelos comestíveis da espécie *Pleurotus ostreatus* DSM 1833**. 2004. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

APHA. American Public Health Association. **Compendium of Methods of the Microbiological Examination of Foods**. 4° ed. Washington, DC, 2001.

BOTTA, J. R. **Evaluation of seafood freshness quality**. 2 ed. USA: Freeman Press. 1996. 418 p.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, 2002. 427p.

BRASIL. **Resolução RDC, nº 12, de 02 de janeiro de 2001**. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 21/08/2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Portaria Nº 1, de 07 de Outubro**

de 1981. (Anexo XI – Pescado fresco, resfriado e congelado)

BRASIL. Ministério da Agricultura. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA. Capítulo VII – **Pescados e Derivados**. 1980.

BREMNER, P. J., FLETCHER, G. C., OSBORNE C. *Clostridium botulinum* in seafood. New Zealand Institute for Crop & Food Research Limited. 2003. Disponível: www.crop.cri.nz/home/research/marine/pathogens/clostridium.pdf Acessado em: 12/10/2010.

CARVER, C.H. Vacuum cooling and thawing fishery products. **Marine Fisheries Review**. Washington: National Oceanic and Atmospheric Administration, v. 37, p. 15–21, 1975.

CHEN, Y.I. Vacuum cooling and its energy use analysis. **Journal of Chinese Agricultural Engineering**, v. 32, p. 43–50, 1986.

CHENG, Q., SUN, D.-W. Feasibility assessment of vacuum cooling of cooked pork ham with water compared to that without water and with air blast cooling. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41(8), p. 938–945, 2006a.

CHENG, Q., SUN, D.-W. Improving the quality of pork ham by pulsed vacuum cooling in water. **Journal of Food Process Engineering**, v. 29(2), p. 119–133, 2006b.

CHENG, Q., SUN, D.-W., SCANNELL, A. G. M. Feasibility of water cooking for pork ham processing as compared with traditional dry and wet air cooking methods. **Journal of Food Engineering**, v. 67(4), p. 427–433, 2005.

CORDEIRO, D. **Qualidade do mexilhão *Perna perna* submetido ao processo combinado de cocção, congelamento e armazenamento**. 2005. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

DAVID, J. R. D., GRAVES, R. H., CARLSON, V. R. **Asseptic processing and packaging of food: a Food Industry perspective**.

USA: CRC Press. 1996. 257 p.

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, p. 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, p. 271 – 277, 2000.

DÍAZ, M. DE L. N.; VENTO, Z. T.; MORGADO, R. DE H.; PINO, Y. T.; RUIZ, Y. N. Comportamiento reológico-sensorial de la textura de la langosta (*Panulirus argus*) entera cruda almacenada en congelación. **Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras**, v. 26, n. 1, p. 43 – 45, 2009.

DRUMMOND, L., SUN, D-W., VILA, C. T., SCANNELL, A. G. M. Application of immersion vacuum cooling to water-cooked beef joints – Quality and safety assessment. **Food Science and Technology**, v. 42, p. 332 – 337, 2009.

DRUMMOND, L. S., SUN, D-W. Feasibility of water immersion cooking of beef joints: effect on product quality and yield. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 2, p. 289 – 294, 2006.

ERDOGDU, F., BALABAN, M. O., OTWELL, W. S., GARRIDO, L. Cook-related yield loss for pacific white (*Penaeus vannamei*) shrimp previously treated with phosphates: effects of shrimp size and internal temperature distribution. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 297 – 300, 2004.

ESPÍNOLA, O., DIAS, R. C. O mexilhão como matéria-prima alimentar. **ABIA/SAPRO**, n. 47, p. 10 – 30, 1980.

EVERINGTON, D. W. Vacuum technology for food processing. In: **Food Technology International Europe** (Turner A, ed.). London: Sterling Publications Ltd, p. 71–74, 1993.

FENNEMA, O. R. **Food chemistry** (2nd ed.). New York: Marcel Dekker. 1996.

FITO, P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, v. 22, n. 1-4, p. 313-328, 1994.

FORSYTHE, S. J. **Microbiologia da Segurança Alimentar**. Porto Alegre: Artmed, 2002. 424 p.

FRANÇA FILHO, A. T. F.; MESQUITA, A. J.; OLIVEIRA, J. P.; BUENO, C. P.; LOPES, J. H.; COUTO, M. V.; BORGES, N. M. F. Qualidade bacteriológica de meias-carcaças bovinas oriundas de matadouros-frigoríficos do estado de Goiás habilitados para exportação. **Ciência Animal Brasileira**, v. 7, n. 3, p. 315-325, jul./set. 2006.

FURLAN, E. F. **Vida útil dos mexilhões *Perna perna* cultivados no litoral norte de São Paulo: aferição dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos**. 2004. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

GÓMEZ-ESTACA, J., GIMÉNEZ, B., GÓMEZ-GUILLÉN, C., MONTERO, P. Influence of frozen storage on aptitude of sardine and dolphinfish for cold-smoking process. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, p. 1246 – 1252, 2010.

HELP TEXTUROMETRO. Application study: Prawns. March, 2006.

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 (2–3), p. 105 – 110, 2003.

HOUSKA, M.; PODLOUCKY, S.; ZITNY, R.; GREE, R.; SESTAK, J.; DOSTAL, M.; BURFOOT, D. Mathematical model of the vacuum cooling of liquids. **Journal of Food Engineering**, v. 29, p. 339–348, 1996.

HUBER, E., SOARES, L.P., CARCIOFI, B.A.M., HENSE, H., LAURINDO, J.B.. Vacuum Cooling of Cooked Mussels (*Perna perna*). **Food Science Technology International**, v. 12, n. 1, p. 19 – 25, 2006.

HUBER, E. **Resfriamento a vácuo de cortes de carnes após o cozimento**. 2004. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,

2004.

JAMES, S. J., BURFOOT, D., BAILEY, C. The engineering aspects of ready meal production. In: **Process Engineering in the Food Industry: Development and Opportunities** (Field RW, Howell JA, eds). London: Elsevier Applied Science, p. 43–58, 1987.

JAWORSKA, G., BERNAS, E. Effects of pre-treatment, freezing and frozen storage on the texture of *Boletus edulis* (Bull: Fr.) mushrooms. **International Journal of Refrigeration**, v. 33, p. 877 – 885, 2010.

JUNEJA, V. K.; EBLEN, B. S.; MARMER, B. S.; WILLIAMS, A. C.; PALUMBO, S. A.; MILLER, A. J. Thermal resistance of nonproteolytic type B and type E *Clostridium botulinum* spores in phosphate buffer and turkey slurry. **Journal of Food Protection**, v. 58, n. 7, p. 758 – 763, 1995.

KETTERINGHAM, L., JAMES, S. The use of high thermal conductivity inserts to improve the cooling of cooked foods. **Journal of Food Engineering**, v. 45, p. 49 – 53, 2000.

KIRSCHINK, P. G.; VIEGAS, E. M. M. Alterações na qualidade do camarão de água doce *Macrobrachium rosebergii* durante estocagem em gelo. **Ciência e Tecnologia Alimentar**, v. 24 (3), p. 07-12, 2004.

KONG, F., TANG, J., LIN, M., RASCO, B. Thermal effects on chicken and salmon muscles: tenderness, cook loss, area shrinkage, collagen solubility and microstructure. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, p. 1210 –1222, 2008.

LIMA, M. **Avaliação das condições de processamento de mexilhões *Perna perna* pré-cozidos e resfriados**. 2010. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

LIRA, G. M.; PEREIRA, W. D.; ATHAYDE, A. H. Avaliação da qualidade de peixes comercializados na cidade de Maceió - AL. **Higiene Alimentar**, v. 15 (84), p. 67-74, 2001.

MALPAS, E. W. Vacuum equipment for evaporative cooling. **Process**

Biochemistry, October, p. 15–17, 1972.

MARTÍNEZ-ALVAREZ, O., LÓPEZ-CABALLERO M.E., GÓMEZ-GUILLÉN, M.C., MONTERO, P. The effect of several cooking treatments on subsequent chilled storage of thawed deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) treated with different melanosis-inhibiting formulas. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 1335 – 1344, 2009.

McDONALD, 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, p. 175 – 183, 2001a.

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

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

McDONALD, K.; SUN, D-W.; KENNY, T. The effect of injection level on the quality of a rapid vacuum cooled cooked beef product. **Journal of Food Engineering**, v. 47, p. 139 – 147, 2001.

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

MONTERO, E. C.; MORGADO, R. A. DE H. **Parámetros mecánicos y textura de los alimentos**. Cuba, 2007. 157 p. Disponível em: <http://captura.uchile.cl/sjpui/bitstream/2250/5108/1/ParamMecTexAlim%2007.pdf>. Acesso em: 17/09/2010.

MORENO, J., CHIRALT, A., ESCRICHE, I., SERRA, J. A. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. **Food Research International**, v. 33, p. 609 – 616, 2000.

NIAMNUY, C.; DEVAHASTIN, S.; SOPONRONNARIT, S. Changes in protein compositions and their effects on physical changes of shrimp

during boiling in salt solution. **Food Chemistry**, v. 108, p. 165–175, 2008.

ORDÓÑEZ-PEREDA, J. A. **Tecnologia de alimentos – Componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: ARTMED. 2005. 294 p.

PARISENTI, J.; TRAMONTE, V. L. C. G.; FACCIN, G. L. Composição centesimal de mexilhões *Perna perna*, crus e cozidos, coletados em diferentes estações do ano na cidade de Florianópolis/SC. **Higiene Alimentar**, v. 22, n.159 , p. 84-88, mar. 2008.

PIGOTT, G. M., TUCKER, B. **Seafood: effects of technology on nutrition**. New York: Marcel Dekker, 1990. 362 p.

PINO, Y. T. **Caracterización de la textura sensorial e instrumental del camarón de cultivo *Litopenaeus vannamei* en La camaronera de Tunas de Zaza**. 2008. 73 p. Tesis (Máster en Ciencia y Tecnología de los Alimentos). Universidad de la Habana, Habana, 2008.

PORRELLI, P.; GALVÃO, J. A.; FURLAN, E. F. interferência das características biométricas na composição centesimal de mexilhões *Perna perna* (L). In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, 11, Piracicaba, 2003. **Anais**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003.

ROÇA, R. P. **Tecnologia da carne e produtos derivados**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2000, 202 p.

RODRIGUES, L. G. G. **Processo integrado de cozimento e resfriamento de legumes**. 2009. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

ROLFE, E.J. The freeze-drying of fish and meat. In: **Freeze-Drying of Foodstuffs** (Cotson D, Smith DB, eds). Manchester: Columbia Press, p. 119–131, 1963.

ROSA, F. C., BRESSAN, M. C., BERTECHINI, A. G., FASSANI, E. J., OLIVEIRA E VIEIRA, J., FARIA, P. B., SAVIAN, T. V. Efeito de métodos de cocção sobre a composição química e colesterol em peito e coxa de frangos de corte. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v. 30, n. 4, p.

707-714, jul./ago., 2006.

SALÁN, E. O. **Tratamento térmico de mexilhões *P. perna* como forma de assegurar a qualidade – avaliação do crescimento de *B. cereus* e *S. aureus***. 2005. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SCHMIDT, F. C.; ARAGÃO, G.M.F., LAURINDO, J.B. Integrated cooking and vacuum cooling of chicken breast cuts in a single vessel. **Journal of Food Engineering**, v. 100, p. 219–224, 2010.

SCHMIDT, F. C. **Desenvolvimento de um processo integrado de cozimento e resfriamento de cortes de carne**. 2008. 81 p. Qualificação (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SCHMIDT, C. F., LECHOWICH, R. V., FOLINAZZO, J. F. Growth and toxin production by type E *Clostridium botulinum* below 40°F. **Journal of Food Science**, v. 26, p. 626-630, 1961.

SILVA, F. V. M.; GIBBS, P. A. Non-proteolytic *Clostridium botulinum* spores in low-acid cold distributed foods and design of pasteurization processes. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21 (2), p. 95-105, 2010.

SILVA JUNIOR, E. A. **Manual de controle higiênico-sanitário em alimentos**. São Paulo: Varela. 1995. 347 p.

SIKORSKI, Z. E. **Tecnología de los productos del mar: recursos, composición nutritiva y conservación**. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, Espanha. 1994. 330p.

SKIPNES, D.; ØINES, S.; ROSNES, J. T.; SKÅRA, T. Technology heat Transfer in vacuum packed mussels (*Mytilus edulis*) during thermal processing. **Journal of Aquatic Food Product**, v. 11(3), p. 5-19, 2002.

STUMBO, C.R. **Thermobacteriology in Food Processing**. 2^a ed. USA: Academic Press. 1973. 329 p.

SUN, D-W., ZHENG, L. Vacuum cooling technology for the agri-food

industry: Past, present and future. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 203 – 214, 2006.

SUN, D-W.; WANG, L. Development of a mathematical model for vacuum cooling of cooked meats. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 379 – 385, 2006.

SUN, D-W.; WANG, L. Experimental investigation of performance of vacuum cooling for commercial large cooked meat joints. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 4, p. 527 – 532, 2004.

SUN, D-W; WANG, L. Vacuum Cooling. In **Advances in Food Refrigeration** (Sun D-W, ed.). Leatherhead: Leatherhead Publishing, p. 264–304, 2001.

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

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, v. 13, p. 215–225, 2002.

SZCZESNIAK, A. S; HUMBAUGH, P. R.; BLOCK, H. N. Behavior of different foods in the standard compression cell of the shear press and the effect of sample weight in peak area and maximum force. **Journal of Texture Studies**, v. 1, p. 356-378, 1970.

TSCHEUSCHNER, H. D. **Fundamentos de tecnologia de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2001. 746 p.

TUCKER, G. S.; FEATHERSTONE, S. **Essentials of thermal processing**. 1^a ed. USA: Blackwel. 2010. 264 p.

VAKILY, J. M. **The biology and culture of mussels of the genus *Perna***. Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management. 1989. 63 p.

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, p. 231 – 240, 2004.

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

WARWICK, J. **A code of practice for mussel processing**. Publication of the New Zealand Fishing Industry Board. 35 p. 1984.

WOOD, P. C. **Manual de higiene de los mariscos**. Acribia, Zaragoza. 1979. 79 p.

ZHANG, Z., SUN, D-W. Effect of cooling methods on the cooling efficiencies and qualities of cooked broccoli and carrot slices. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 320 – 326, 2006.

ZHANG, Z.H., SUN, D.-W. Temperature and weight loss profiles of vacuum cooling of sliced cooked carrot. In: **Proceedings of the 21st IIR International Congress of Refrigeration**. Washington: IIR (International Institute of Refrigeration). Paper no. ICR0470. 2003.

ZHENG, L.; SUN, D.-W. Vacuum Cooling of Foods. **Emerging technologies for food processing**. London: Elsevier, p. 579 - 602, 2005.

ZHENG, L.; SUN, D-W. Vacuum cooling for the food industry – a review of recent research advances. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15. n. 12, p. 555 – 568, 2004

CAPÍTULO 3

Este capítulo aborda o estudo do tratamento osmótico de mexilhões (cozidos e resfriados) em solução salina. Está dividido em introdução, objetivos, revisão da literatura sobre o processo de salga e o tratamento osmótico, a pressão atmosférica e com aplicação de vácuo (impregnação a vácuo), material e métodos utilizados nos experimentos e também os procedimentos para os cálculos dos parâmetros de processo, resultados experimentais obtidos e discussão, conclusões e referências bibliográficas.

3 ESTUDO DO TRATAMENTO OSMÓTICO DE MEXILHÕES EM SOLUÇÃO SALINA

3.1 INTRODUÇÃO

Carnes, pescados e frutos do mar, quando não comercializados *in natura*, são frequentemente processados por técnicas tradicionais, como salga, secagem, defumação, marinação, ou uma combinação das mesmas. Estas técnicas geralmente têm uma etapa em comum, na qual o produto é colocado em contato com uma solução aquosa concentrada em solutos, sendo esta operação denominada de tratamento osmótico (COLLIGNAN *et al.*, 2001).

O tratamento osmótico em solução salina, mais conhecido como salga em salmoura ou salga úmida, visa essencialmente promover características sensoriais específicas ao produto, além dos fins de preservação (BOUDHRIOUA *et al.*, 2009). Dependendo da concentração da solução salina, carnes e pescados podem ser hidratados ou desidratados (SCHMIDT, CARCIOFI e LAURINDO, 2008b). Também podem ser adicionados ingredientes à solução salina, possibilitando a formulação de diversos produtos (temperados, acidificados, entre outros), proporcionando propriedades especiais e melhorando a eficiência do processo.

São raros os relatos na literatura sobre o tratamento osmótico de mexilhões com solução salina. A *Food and Agriculture Organization* (FAO) (2010) recomenda que os mexilhões antes de serem marinados sejam imersos em salmoura contendo 2 a 3% de sal por 2 a 3 horas. Sombrio *et al.* (2008) desenvolveram conservas de mexilhões tratados com soluções salinas acidificadas, embalados a vácuo e tratados termicamente. Outro trabalho, sobre defumação de mexilhões, utiliza a imersão em salmoura (20% por 10 minutos) como pré-tratamento antes da defumação (EMERENCIANO *et al.*, 2008). O trabalho mais expressivo encontrado foi o de Turan *et al.* (2006), que investigaram a adequação dos mexilhões cozidos ao processamento de salga e concluíram que os processos de salga em salmoura e salga seca podem ser aplicados com sucesso aos mexilhões.

Peixes e frutos do mar são comumente marinados, defumados e/ou desidratados e estes processos, em geral, são precedidos pela operação de salga (GALLART-JORNET *et al.*, 2007a,b; COLLIGNAN *et al.*, 2001, CHIRALT *et al.*, 2001). A salga úmida ou tratamento osmótico em solução salina tem sido amplamente estudados em diferentes espécies de peixes, principalmente sardinha, bacalhau, salmão, bagre (WANG *et al.*, 2000; BARAT, *et al.*, 2003; ANDRES *et al.*, 2005; BELLAGHA *et al.*, 2007; GALLART-JORNET *et al.*, 2007a,b; SOBUKOLA e OLANTUDE, 2010) para, entre outros objetivos, otimizar os parâmetros do processo e avaliar as variáveis que influenciam o mesmo.

O tratamento osmótico tem sido tradicionalmente realizado à pressão atmosférica. No entanto, vários pesquisadores têm focado na impregnação a vácuo de alimentos como uma alternativa promissora, pois a mesma permite uma impregnação mais rápida e controlada dos solutos desejados (MÚJICA-PAZ *et al.*, 2003, FITO *et al.*, 2001, CHIRALT *et al.*, 2001).

A impregnação a vácuo consiste na aplicação de uma pressão reduzida ao sistema sólido-líquido, seguida da restauração da pressão atmosférica (FITO, 1994). Este processo resulta em um aumento nas taxas de transferência de massa (CHIRALT *et al.*, 2001).

Estudos relatam que a aplicação da impregnação a vácuo na salga de queijos (CHIRALT e FITO, 1997 *apud* CHIRALT *et al.*, 2001; HOFMEISTER, 2003), presunto (BARAT *et al.*, 1998 *apud* DEUMIER, 2003), carne de aves (DEUMIER, 2003; SCHMIDT, 2006) e peixes (CHIRALT *et al.*, 2001) possibilitou uma redução no tempo de salga

destes produtos e promoveu uma distribuição mais uniforme do sal nos mesmos.

Nesse contexto, o tratamento osmótico de mexilhões, cozidos e resfriados, imersos em soluções salinas pode proporcionar uma alternativa para o processamento destes moluscos, tanto como pré-tratamento, para posterior defumação e/ou desidratação, possibilitando diversificar e agregar valor ao produto; como pós-tratamento, na recuperação parcial da água perdida nos processos de cozimento e resfriamento e/ou impregnação de aromas, temperos e, conseqüente, melhoria das características sensoriais.

Assim, o conhecimento das variações do conteúdo sal e do teor de umidade dos mexilhões, durante o tratamento osmótico em soluções salinas de diferentes concentrações de sal, é de fundamental importância, pois permite estimar o tempo de imersão em função da composição desejada para o produto final.

3.1.1 Objetivo

“Avaliar o comportamento (alterações na massa total, no teor de umidade e no conteúdo de sal) de mexilhões cozidos e resfriados durante o tratamento osmótico em soluções salinas.”

Os objetivos específicos desta etapa foram:

- a) Avaliar a influência de diferentes concentrações de sal na salmoura no ganho de água (GA), no ganho de sal (GS), no ganho de massa total (GM) e na atividade de água (a_w) dos mexilhões durante o tratamento osmótico a pressão atmosférica;
- b) Modelar o ganho de sal durante o tratamento osmótico à pressão atmosférica;
- c) Determinar a cinética do tratamento osmótico com aplicação de vácuo (impregnação a vácuo) e avaliar diferentes condições de pressão;
- d) Verificar o efeito da aplicação de vácuo ao tratamento osmótico em salmoura no ganho de água (GA) e no ganho de sal (GS) da amostra.

3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.2.1 O processo de salga

A salga é uma das técnicas mais antigas de conservação de carnes e peixes. No entanto, a atual demanda por pescados salgados é mais influenciada pelo sabor característico do que para fins de conservação (MUJAFFAR e SANKAT, 2005b).

O efeito conservante da salga é devido, principalmente, à redução da atividade de água do produto, promovendo sua estabilidade microbiológica, química e bioquímica. A salga também pode ser combinada com outras operações, como defumação ou secagem, para obter-se um produto final estável (CHIRALT *et al.*, 2001).

Existem três tipos de salga: a salga seca, a salga úmida e uma combinação dos dois métodos (BELLAGHA *et al.*, 2007). Na salga seca, o produto é misturado com o sal e, na salga úmida, o produto é imerso em soluções salinas concentradas (OSTROVSKI, 1971).

Atualmente, o processo de salga úmida ou em salmoura é considerado como um tratamento osmótico, o qual visa essencialmente proporcionar características sensoriais específicas ao produto (BOUDHRIOUA *et al.*, 2009).

3.2.2 Tratamento osmótico

O tratamento osmótico consiste na imersão do alimento em uma solução concentrada em solutos, como sais, açúcares, ácidos, temperos, etc. (COLLIGNAN *et al.*, 2001).

Quando uma solução salina é utilizada no tratamento de carnes e pescados, dois principais fluxos simultâneos são normalmente gerados: perda ou ganho de água e absorção de sal pelo produto (BARAT *et al.*, 2003). Neste contexto, o tratamento osmótico pode ser dividido em dois processos distintos: a hidratação e a desidratação osmótica (LAWRIE, 2005; VOLPATO *et al.*, 2007)

O processo de hidratação, comumente denominado marinação, visa à incorporação de água e de agentes osmóticos quando o produto é imerso em soluções pouco concentradas. Este processo é utilizado com o objetivo de agregar valor ao produto, melhorando suas características sensoriais (LEMOS *et al.*, 1999).

A desidratação osmótica é o processo que permite a remoção parcial da água do produto pelo contato direto deste com uma solução concentrada em solutos solúveis. A absorção do soluto modifica a composição do produto final e proporciona um meio para formulação direta de produtos (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 1999).

O tratamento osmótico de carnes e pescados *in natura* com soluções salinas leva a um fenômeno complexo, devido à dinâmica das interações das proteínas com o sal, que modifica continuamente a importância relativa dos mecanismos de transferência de massa. A direção do fluxo do líquido nos espaços intercelulares não pode ser predita somente a partir da pressão osmótica da solução, pois as forças capilares desempenham um papel importante no fluxo do líquido. Até um nível crítico de sal, as proteínas do músculo mostram uma conformação aberta, onde uma grande quantidade de água pode ser retida, mas a partir deste valor crítico, a agregação das proteínas miofibrilares conduz à expulsão da água da estrutura e, assim, uma perda de massa e de volume da amostra (OFFER e TRINICK, 1983).

A transferência de sal e água, na mesma direção ou em contracorrente, no tratamento osmótico depende da concentração da solução (SCHIMDT, CARCIOFI e LAURINDO, 2008b). Outros fatores como a temperatura da solução osmótica, o tamanho e a geometria do alimento, a razão mássica solução: alimento e o nível de agitação da solução influenciam a difusão da água e do sal no alimento (CORZO e BRACHO, 2006b).

Quanto à temperatura da solução osmótica, por questões técnicas de processamento de produtos de origem pesqueira, se recomenda usar temperaturas baixas, tal como 3 °C na temperatura da salmoura para desidratar bacalhau (BARAT *et al.*, 2003) ou de 5 °C na desidratação osmótica do salmão (BUGUEÑO, 2000 *apud* PEZANTES, 2006) para evitar danos à estrutura biológica do produto e a perda de proteínas, que são transferidas à salmoura pelo uso de temperaturas mais altas (ZAITSEV *et al.*, 1969 *apud* PEZANTES, 2006).

Dessa forma, controlando as condições de processo (concentração de sal na salmoura, temperatura da salmoura, entre outras), o tratamento osmótico com soluções salinas possibilita otimizar o processo de salga e desenvolver novos produtos. Variando a concentração de sal na salmoura, é possível aumentar o rendimento do produto, por exemplo, recuperando parte da água do alimento perdida durante o cozimento e/ou resfriamento, ou obter produtos diferenciados quanto ao teor de umidade e conteúdo de sal.

3.2.2.1 Relações de equilíbrio durante o tratamento osmótico de alimentos

Durante o tratamento osmótico, a diferença de potencial químico (μ) entre o produto (alimento) e a solução externa é a força impulsora para a transferência de massa. Esta diferença está diretamente relacionada à diferença de concentração do soluto entre o produto e a solução externa, aos gradientes macroscópicos de pressão, às forças capilares e às interações moleculares. Assim, o equilíbrio termodinâmico do sistema será atingido quando os potenciais químicos de cada um dos componentes forem iguais no alimento e na solução externa (BARBOSA-CANOVAS e VEGAMERCADO, 2000). Para a água, o equilíbrio será atingido quando os potenciais químicos da água (μ_w) na fase líquida do produto (FLP) e na solução externa forem iguais (Equação 3.1):

$$\mu_w|_{FLP} = \mu_w|_{solução} \quad (3.1)$$

A uma determinada temperatura, o potencial químico da água (μ_w) na fase líquida de um meio poroso, conforme expresso pela Equação 3.2, é a soma das contribuições do potencial associado com a presença de solutos (potencial osmótico, $RT \ln a_w$), do potencial de pressão ($\bar{V}p$) e do potencial matricial do meio em relação à água (interação da água com a matriz, através de forças capilares, forças de sorção e forças elétricas, $\bar{V}\Psi$) (REICHARDT, 1985).

$$\mu_w = RT \ln a_w + \bar{V}p + \bar{V}\Psi \quad (3.2)$$

onde R é a constante dos gases ideais, T é a temperatura absoluta do sistema, a_w é a atividade de água, \bar{V} é o volume parcial molar da água, p é a pressão do sistema e Ψ é o potencial matricial.

Para o tratamento osmótico a pressão atmosférica não há gradientes de pressão e o potencial matricial do alimento é função das forças de atração (por exemplo, água-proteína) e da capilaridade (SCHIMDT, 2006).

3.2.2.2 Modelos aplicados no estudo da transferência de massa durante o tratamento osmótico

O conhecimento da cinética de transferência de água e sal durante o tratamento osmótico é de grande importância tecnológica, pois permite estimar o tempo de imersão dos alimentos em uma solução osmótica para obtenção de produtos com determinado conteúdo de sal e teor de umidade (SCHMIDT, CARCIOFI e LAURINDO, 2008b).

Através da modelagem matemática é possível avaliar a influência de diversos parâmetros no processo. Os modelos matemáticos clássicos usados para descrever a transferência de massa durante o tratamento osmótico são baseados na equação da difusão e nos coeficientes de difusão aparente D_{ap} . No entanto, as equações de difusão têm soluções analíticas apenas para geometrias clássicas. Para geometrias não-clássicas, métodos numéricos são necessários à sua solução. Desta forma, pode-se utilizar modelos empíricos, que não tem restrições geométricas para a sua aplicação, relatados para descrever a transferência de massa em alimentos submetidos ao tratamento osmótico (AZUARA *et al.*, 1992; CORZO e BRACHO, 2006a, b; SCHMIDT, CARCIOFI e LAURINDO, 2009.)

O modelo empírico proposto por Azuara *et al.* (1992), a partir de um balanço de massa simples, tem sido usado para descrever a taxa de desidratação e para estimar a concentração de equilíbrio de solutos em peixes (MUJAFFAR e SANKAT, 2005a; CORZO e BRACHO, 2006a) submetidos ao tratamento osmótico com soluções salinas de diferentes concentrações.

O balanço de massa no interior do produto pode ser expresso como:

$$GX^t = GX^\infty - GX^* \quad (3.3)$$

onde GX^t é o ganho de água ou sal pela amostra em determinado tempo t , GX^∞ é o ganho de água ou sal no equilíbrio e GX^* é a massa de água ou sal que ainda não entrou na amostra no tempo t .

O GX^∞ possui um valor fixo para as condições estabelecidas de temperatura e concentração de salmoura, enquanto o GX^t e o GX^* dependem do tempo do processo. O valor do GX^t aumenta e o valor do GX^* diminui com o incremento de tempo, o que permite estabelecer uma relação entre essas variáveis, representada por um parâmetro K . Por sua vez esse parâmetro é uma função do tempo e da taxa de ganho de água

ou sal, podendo ser escrito em termos do tempo t e de uma constante k , conforme representado pela Equação 3.4.

$$GX^* = \frac{GX^t}{K} = \frac{GX^t}{k.t} \quad (3.4)$$

Substituindo a Equação 3.4 na Equação 3.3 e rearranjando os termos tem-se:

$$GX^t = \frac{k.t (GX^\infty)}{1+k.t} \quad (3.5)$$

A Equação 3.5 pode ser utilizada para caracterizar o processo osmótico de diferentes tipos de alimentos, sem restrições da configuração geométrica (AZUARA *et al.*, 1992).

O valor do ganho de água ou sal no equilíbrio (GX^∞) e o parâmetro k podem ser calculados através de uma regressão linear (Figura 3.1) utilizando os dados experimentais do ganho de água ou sal obtidos num determinado período de tempo. A forma linear para a Equação 3.5 é dada por:

$$\frac{t}{GX^t} = \frac{1}{k (GX^\infty)} + \frac{t}{GX^\infty} \quad (3.6)$$

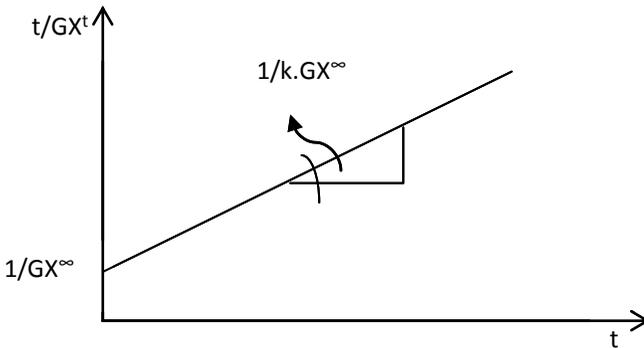


Figura 3.1. Esquema representativo para determinação do ganho de sal ou ganho de água no equilíbrio através do modelo de Azuara *et al.*, (1992).

Peleg (1988) propôs uma equação de dois parâmetros para descrever a adsorção e testou a sua precisão de predição durante a adsorção de água no leite em pó e arroz integral, e imersão de arroz integral. Esta equação tem sido utilizada para descrever os processos de

sorção em vários alimentos (SANJUÁN, *et al.*, 2001; TURHAN, SAYAR e GUNASEKARAN, 2002; CORZO *et al.*, 2007).

A adaptação da equação proposta por Peleg (1988) para o presente trabalho é dada pela Equação 3.7:

$$GX = \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (3.7)$$

Na equação acima, “±” torna-se “+” se o processo é de ganho e “-” se o processo é de perda. De acordo com este modelo, o valor de k_1 é a taxa inicial ($t = 0$) de ganho de água (GA) ou de sal (GS) (Equação 3.8):

$$\left. \frac{d(GX)}{dt} \right|_{t=0} = \pm \frac{1}{k_1} \quad (3.8)$$

O valor de k_2 permite determinar o ganho de água ou de sal no equilíbrio (GX^∞), isto é, quando $t \rightarrow \infty$ (Equação 3.9):

$$GX^\infty = \pm \frac{1}{k_2} \quad (3.9)$$

A principal vantagem do modelo de Peleg é a economia de tempo ao estimar a cinética de sorção de água dos alimentos, incluindo o teor de umidade de equilíbrio a partir de dados experimentais de tempos relativamente curtos (MAHARAJ e SANKAT, 2000; TURHAN *et al.*, 2002 *apud* CORZO *et al.*, 2007). Na literatura há pouca informação disponível sobre o uso do modelo de Peleg para a desidratação osmótica de carnes e pescados.

Dentre os trabalhos que utilizaram o modelo de Peleg tem-se o de CORZO e BRACHO (2006b), que aplicaram este modelo para estudar a transferência de massa durante a desidratação osmótica de sardinha, o de SCHIMDT, CARCIOFI e LAURINDO (2009), que investigaram a modelagem por Peleg da desidratação, hidratação e ganho de sal durante o tratamento osmótico de cortes de peito de frango e o de SOBUKOLA e OLANTUDE (2010) que estudaram a cinética de absorção de sal em peixes durante a salga em salmoura usando o modelo de Peleg, em diferentes concentrações de sal e de temperatura da solução.

3.2.2.3 Aplicações do tratamento osmótico em solução salina (salga úmida)

Muitos trabalhos têm estudado a cinética de salga de pescados em solução salina (NGUYEN *et al.*, 2010; BOUDHRIOUA *et al.*, 2009; FUENTES *et al.*, 2008, 2007; GALLART-JORNET *et al.*, 2007a, b; BARAT *et al.*, 2003; ANDRÉS *et al.*, 2002; WANG *et al.*, 2000).

Turan *et al.* (2007) relataram os efeitos da salmoura e da salga seca nos atributos sensoriais e na qualidade de mexilhões armazenados a 4 °C. No método de salga em salmoura, os mexilhões, cozidos e resfriados, foram imersos em salmoura contendo 26,4 g NaCl/100 mL de água. No método de salga seca, os mexilhões foram salgados com uma mistura de sal fino e grosso, usando uma razão de amostra:sal de 4:1 em peso. A quantidade de sal nos mexilhões *in natura* foi de 0,87%, e aumentou para 21,01% em mexilhões salgados em salmoura e para 25,26% em mexilhões salgados a seco, no final do período de armazenamento (120 dias). Os autores concluíram que os mexilhões salgados apresentaram um sabor diferente e podem ser consumidos por um período de até quatro meses em condições de refrigeração.

Nguyen *et al.* (2010) estudaram a influência de diferentes concentrações de sal (6%, 15%, 18% e 24% (p / p)) na transferência de massa de água e sal durante a salga em salmoura de lombos de bacalhau. Um aumento na concentração de sal acelerou a exsudação da água e a difusão de sal nos lombos de bacalhau. O ganho de massa dos lombos de bacalhau aumentou com a redução da concentração de sal e aqueles imersos na salmoura a 6% apresentaram o maior rendimento do processo. Os valores dos parâmetros cinéticos da salga para as variações de massa total e de massa de água diminuíram com o aumento da concentração de sal. Inversamente, valores dos parâmetros cinéticos para variações de massa de sal mais altos foram observados para altas concentrações de salmoura.

Gallart-Jornet *et al.* (2007a) investigaram o efeito de diferentes concentrações de salmoura (4%, 10%, 15%, 18% e 25% de NaCl p / p) sobre a cinética da salga de filés de salmão defumado. Os resultados indicaram que a concentração da salmoura afetou significativamente a massa total dos filés. O ganho de massa dos filés aumentou com a diminuição da concentração da salmoura. Em relação às propriedades de textura, a dureza aumentou e a elasticidade diminuiu com o aumento da concentração da salmoura juntamente com uma queda na capacidade de retenção de água.

Observa-se que no tratamento osmótico de lombos de bacalhau e filés de salmão os mesmos foram tratados *in natura*, diferente dos mexilhões, que foram cozidos previamente.

3.2.3 Impregnação a vácuo

O tratamento osmótico com aplicação de vácuo, ou impregnação a vácuo, é uma técnica que consiste em submergir o alimento em uma solução osmótica e aplicar uma pressão sub-atmosférica em um intervalo curto, seguido de um período à pressão atmosférica. Esse processo aumenta a área de transferência de massa no alimento, produzindo um maior intercâmbio sólido-líquido (CORZO *et al.*, 2007).

A impregnação a vácuo compreende a troca do gás interno ou do líquido ocluso nos poros do alimento por uma fase líquida externa, devido à ação do mecanismo hidrodinâmico (HDM) promovido pelas mudanças de pressão (FITO, 1994).

A operação é realizada em duas etapas, depois da imersão do produto num recipiente contendo a fase líquida. Na primeira etapa, a pressão de vácuo (p_1) é imposta ao sistema por um curto tempo (t_1) no recipiente fechado, promovendo assim a expansão e o escoamento do gás interno do produto. A liberação do gás leva o líquido nativo do poro do produto com ele. Na segunda etapa, a pressão atmosférica (p_2) é restabelecida no recipiente por um tempo (t_2) e a compressão conduz a uma grande redução de volume do gás remanescente nos poros e assim ao subsequente fluxo do líquido externo à estrutura porosa (FITO *et al.*, 2001). Este mecanismo implica numa rápida modificação da composição do produto, alterando as condições para a transferência de massa.

Visando compreender este fenômeno e as implicações da aplicação de vácuo na impregnação de alimentos, Fito (1994) e Fito e Pastor (1994) propuseram um modelo para a descrição dos mecanismos de degaseificação e de infiltração da solução impregnante em um alimento poroso. Este modelo, chamado pelos autores de Mecanismo Hidrodinâmico (HDM), considera a pressão capilar e o gradiente macroscópico de pressão imposto ao sistema durante as etapas de aplicação do vácuo e recuperação da pressão atmosférica como as forças motrizes do processo. Em complemento a este modelo, Fito *et al.* (1996) apresentaram um modelo denominado Deformação-Relaxação (DRP), no qual os autores propuseram correções ao modelo HDM devido às

deformações dos alimentos durante a aplicação do vácuo e à relaxação dos mesmos durante o restabelecimento da pressão (CARCIOFI, 2009).

O mecanismo hidrodinâmico (HDM) desempenha um importante papel nas operações sólido-líquido a vácuo, pois as mudanças de pressão no sistema produzem fortes forças motrizes responsáveis pela transferência de massa. A análise de alguns resultados obtidos a partir de experimentos de desidratação osmótica a vácuo mostrou que o HDM pode ocorrer juntamente com o fenômeno de deformação-relaxação (DRP). Neste caso, deve ser assumido que o acoplamento de ambos os fenômenos, HDM e DRP, afetará a cinética e a condição final de equilíbrio do sistema. O HDM e o DRP estão relacionados com a microestrutura do alimento e as propriedades mecânicas do mesmo (FITO *et al.*, 1996).

O aumento da velocidade da transferência de massa durante a impregnação a vácuo é resultado da sobreposição do mecanismo difusivo (ou pseudo-difusivo) e do HDM. Em casos onde este segundo ocorre muito rapidamente e ambos os mecanismos citados podem ser desacoplados, considera-se que o HDM influencia o processo nos primeiros instantes e o mecanismo difusivo provoca alterações progressivamente ao longo do tempo (CHIRALT *et al.*, 2001).

As alterações promovidas na amostra durante a impregnação a vácuo são resultado tanto do preenchimento dos poros pela solução externa quanto da deformação da amostra, provocada pela variação da pressão sobre o sistema (FITO *et al.*, 2001). O preenchimento dos poros implica: (a) no aumento da área de contato entre as células e a solução osmótica; (b) numa rápida mudança na força motriz do processo de transferência de massa, uma vez que a composição total da amostra é modificada com a impregnação da solução; (c) num aumento da área disponível para transferência de massa por difusão de água e solutos (PAES, 2005).

A impregnação a vácuo permite a introdução de substâncias dissolvidas ou dispersas em uma fase líquida diretamente na estrutura porosa dos alimentos, promovendo mudanças na composição e na estrutura dos mesmos, de forma rápida e controlada (SALVATORI *et al.*, 1998).

Estudos relatam que o uso da impregnação a vácuo no processo de salga em salmoura resulta em um aumento nas taxas de transferência de massa (CHIRALT *et al.*, 2001), em tempos de salga menores e maior retenção da fase líquida no produto final (BUGUEÑO *et al.*, 2001 *apud* BUGUEÑO *et al.*, 2003). Pode ser usada quando o tempo necessário para tratar os alimentos à pressão atmosférica é muito longo, geralmente

quando o produto é grande, ou quando a difusão do soluto é lenta (alto peso molecular e/ou forte interação com a matriz protéica). Também quando o processo requer baixas temperaturas para garantir a segurança do alimento durante a operação, pois a difusividade do sal é baixa a temperaturas baixas.

A utilização de vácuo no processo de salga tem sido estudada em queijos (ANDRÉS, 1995; HOFMEISTER, SOUZA e LAURINDO, 2005), presunto (BARAT *et al.*, 2005), carnes (DEUMIER *et al.*, 2003; SCHMIDT, 2006; SCHMIDT, CARCIOFI e LAURINDO, 2008a) e peixes (CHIRALT *et al.*, 2001; BARAT *et al.*, 2003; PEZANTES, 2006).

Estudos experimentais demonstraram que o processamento de alimentos em salmoura sob vácuo conduziu a uma distribuição mais homogênea do sal e da água através do produto em comparação ao processo a pressão atmosférica (COLLIGNAN *et al.*, 2001). Pesquisas realizadas com carne de aves (DEUMIER *et al.*, 2000) revelaram que o processamento de produtos cárneos em salmoura sob vácuo aumentou o ganho de sal e diminuiu a perda de água, aumentando assim o rendimento em massa. Barat *et al.* (1998) também notaram que o uso de vácuo na cura de presunto diminuiu o tempo de salga e a disseminação do sal foi mais homogênea no centro do produto.

A eficiência da impregnação a vácuo nos processos de salga é afetada por muitos fatores, tais como a microestrutura do alimento (porosidade, tamanho e forma do poro e tipo de fluido que ocupa os poros), as propriedades de escoamento da solução externa e as variáveis de operação: gradientes de pressão impostos, período do alimento sob vácuo e temperatura (CHIRALT *et al.*, 2001).

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 3.2 representa o diagrama do tratamento osmótico de mexilhões, sendo cada etapa principal descrita no decorrer do texto de material e métodos.

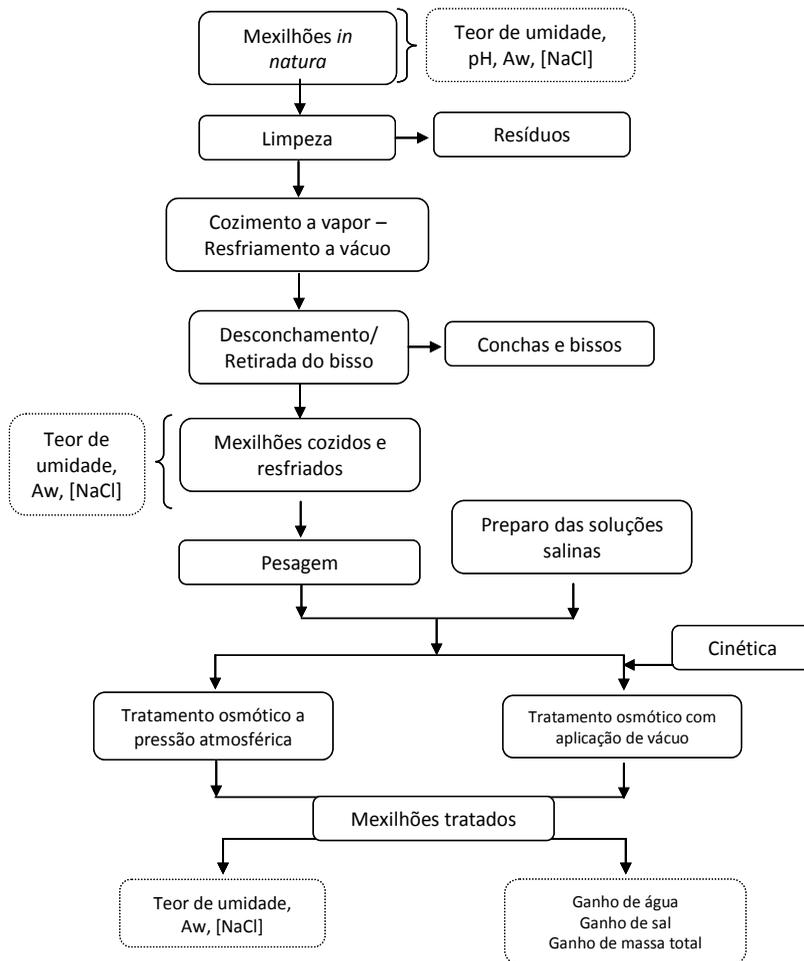


Figura 3.2. Diagrama do tratamento osmótico de mexilhões.

3.3.1 Tratamento osmótico à pressão atmosférica

Para o estudo do tratamento osmótico dos mexilhões cozidos e resfriados por imersão em solução salina, à pressão atmosférica, foi utilizado o dispositivo experimental descrito a seguir. No interior do recipiente, as amostras foram submersas na solução salina, sob agitação. O tempo de imersão foi de 4h e a temperatura dos experimentos foi controlada em 5,5 °C.

3.3.1.1 Preparo da amostra

Os mexilhões (*Perna perna*) utilizados nos experimentos foram fornecidos pela empresa Cavalo Marinho Comércio e Beneficiamento de Frutos do Mar, localizada no município de Palhoça - SC. Estes moluscos foram limpos (retirada de incrustações), cozidos no vapor por 6 minutos e resfriados a vácuo até a temperatura de 10 °C. Após o resfriamento, foi realizado o desconchamento, retirada do bisso e a pesagem das unidades utilizadas nos ensaios. Os mexilhões foram colocados num suporte (redes de nylon) e identificados para posterior imersão na solução salina. Foram tratadas 21 unidades por ensaio.

3.3.1.2 Preparo da solução salina

Os valores da concentração de sal na salmoura avaliados foram 5, 10, 15 e 20 % (p/p). As soluções salinas foram preparadas com sal refinado comercial e água destilada, sendo acondicionadas sob refrigeração (5°C) para posterior uso nos experimentos. Utilizou-se uma razão mássica de 1:40 de mexilhões para salmoura a fim de evitar variações significativas na concentração de sal durante o ensaio. A concentração de NaCl na salmoura (C_S) foi expressa em gramas de sal por gramas de solução.

3.3.1.3 Dispositivo experimental

O dispositivo experimental, representado na Figura 3.3, consiste em um recipiente encamisado com volume interno de 14,4 L. A manutenção da temperatura foi realizada pela circulação de água proveniente de um banho ultratermostático (marca Quimis, modelo

Q214M2, Brasil). A salmoura no interior deste recipiente ou câmara foi mantida sob agitação, utilizando-se uma bomba submersa de circulação de líquidos (Atman, modelo AT-10 com vazão nominal de 1200 L.h⁻¹).

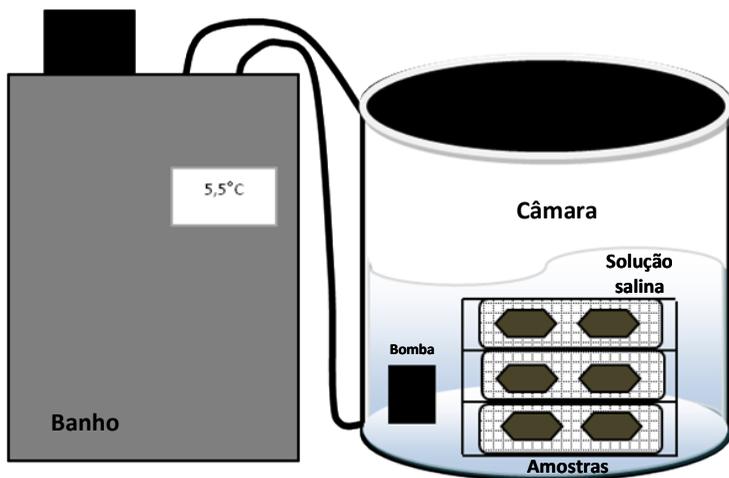


Figura 3.3. Dispositivo experimental para os ensaios do tratamento osmótico de mexilhões em solução salina.

Fonte: Autora (2010).

3.3.1.4 Determinações analíticas

a) Teor de umidade

Os teores de umidade das amostras antes e após o tratamento osmótico foram determinados através de secagem em estufa, com circulação de ar, a 105°C, até peso constante (AOAC, 2000). As pesagens foram realizadas em balança analítica (marca Shimadzu, modelo AY220). Todas as determinações foram em triplicata.

b) Atividade de água (a_w)

A atividade de água dos mexilhões foi determinada através de um higrômetro (Aqualab Model Series 3, Decagon Devices Inc., Pullman, USA). Todas as medidas foram em duplicata.

c) Concentração de sal

A concentração de sal das amostras foi determinada através da quantificação de cloretos de acordo com o Método Argentométrico – Mohr, apresentado no Apêndice C (Brasil, 1999).

3.3.1.5 Parâmetros do processo

O estudo do comportamento dos mexilhões submetidos a diferentes concentrações de sal quanto à transferência de massa foi caracterizado pela determinação dos parâmetros relativos ao ganho de massa total, ganho de água e ganho de sal.

Para cada intervalo de tempo determinado, 3 amostras foram retiradas da solução e a salmoura em excesso aderida à superfície dos mexilhões foi removida com uso de papel filtro qualitativo (gramatura $80\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$). Cada unidade permaneceu 5 segundos de cada lado sobre o papel filtro, sendo em seguida levadas para pesagem. Após, foram trituradas e alíquotas tomadas para determinação do teor de umidade, concentração de sal e atividade de água (SCHMIDT, 2006).

Os parâmetros ganho de massa, ganho de água, e ganho de sal foram calculados através das Equações 3.10, 3.11 e 3.12, respectivamente.

$$GM = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (3.10)$$

onde GM é o ganho de massa, m é a massa da amostra no tempo t e m_0 é massa inicial da amostra.

$$GA = \frac{m_A - m_{A0}}{m_0} \cdot 100 \quad (3.11)$$

onde GA é o ganho de água, m_A é a massa de água da amostra no tempo t, m_{A0} é massa inicial de água da amostra e m_0 é a massa inicial da amostra.

$$GS = \frac{m_S - m_{S0}}{m_0} \cdot 100 \quad (3.12)$$

onde GS é o ganho de sal, m_s é a massa de sal da amostra no tempo t, m_{s_0} é a massa inicial de sal da amostra e m_0 é a massa inicial da amostra.

Também foi determinada a concentração de NaCl das amostras de acordo com a Equação C.1 do Apêndice C.

3.3.1.6 Modelagem matemática do ganho de água e do ganho de sal pelas amostras de mexilhões durante o tratamento osmótico

a) Determinação do ganho de água e do ganho de sal no equilíbrio

O ganho de água e do ganho de sal pela amostra no equilíbrio foram determinados pelo modelo proposto por Azuara *et al.* (1992).

O valor do ganho de água ou de sal no equilíbrio (GX^∞) e o parâmetro k foram calculados através de uma regressão linear (Equação 3.6), utilizando os dados experimentais do ganho de água ou de sal obtidos num determinado período de tempo.

b) Modelagem matemática do ganho de água e do ganho de sal pelo modelo de Peleg

O ganho de água e o ganho de sal foram modelados utilizando a Equação 3.7. A adequação do modelo de Peleg aos dados experimentais foi avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2) e pela raiz do erro quadrático médio (RMSE), conforme a Equação 3.13.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (GX_{predito} - GX_{experimental})^2 \right]^{1/2} \quad (3.13)$$

onde $GX_{predito}$ e $GX_{experimental}$ são, respectivamente, os valores do ganho de água ou de sal predito e experimental e n é o número de medidas experimentais.

3.3.2 Cinética da impregnação a vácuo

3.3.2.1 Dispositivo experimental

Para realização dos ensaios da cinética da impregnação a vácuo foi utilizado um dispositivo montado no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI), no Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, o qual é baseado no dispositivo apresentado por Andrés (1995) e Fito *et al.* (1996), destinado ao registro da variação temporal da massa das amostras durante as etapas de degaseificação e impregnação, bem como da pressão total sobre o sistema durante estas etapas (PAES, 2005).

A Figura 3.4 apresenta um esquema deste aparato, constituído de uma câmara de vácuo em aço inoxidável, de aproximadamente 50 litros, uma bomba de vácuo (marca DVP, modelo LC 305, Itália), um sensor digital de pressão (Altem Tecnologia, Brasil) com exatidão de 2 mmHg e um sistema de aquisição de dados e controle da pressão (Altem Tecnologia, Brasil).

No interior da câmara foi colocada uma célula de carga *single point* (Alfa Instrumentos, Modelo GL1, Brasil) com capacidade máxima de 1000,0 g e exatidão de 0,1 g, mantida suspensa por um suporte metálico. Através de uma haste rígida, um recipiente cilíndrico perfurado (4,5 cm diâmetro x 6,5 cm altura) foi conectado à célula de carga por meio de um sistema de roscas. O recipiente foi posicionado na câmara de vácuo de tal modo a manter as amostras, contidas no mesmo, submersas na solução impregnante. Uma interface eletrônica (Alfa Instrumentos, modelo 3102, Brasil) conectou a célula de carga a um computador, permitindo a coleta instantânea (frequência máxima de 4 medidas por segundo) da força resultante (F_r) sobre o recipiente perfurado. Esta força é a diferença entre a força peso e a força de empuxo, dependentes, respectivamente, da massa e do volume do sistema haste, recipiente e amostra, como esquematizado no detalhe ao lado esquerdo da Figura 3.4.

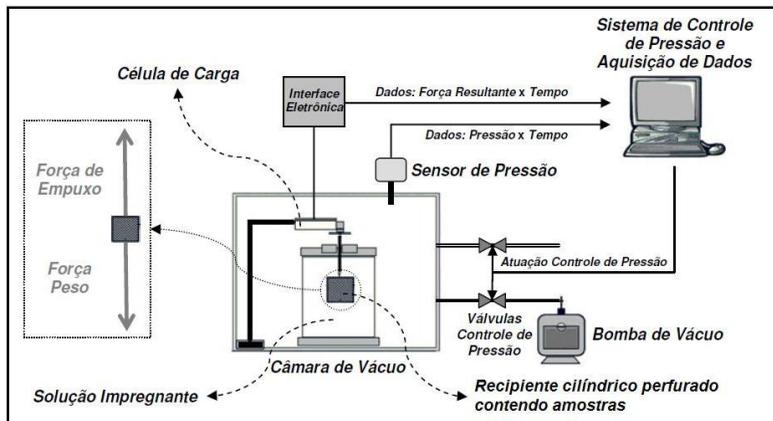


Figura 3.4. Dispositivo experimental utilizado na cinética do processo de impregnação a vácuo.

Fonte: Carciofi (2009).

O sistema de controle de pressão atua sobre duas válvulas solenóides de vácuo (Ascoval, modelo TLP 584127, Brasil) acopladas à câmara. Uma válvula foi instalada na linha de sucção da bomba de vácuo e opera de maneira *on-off*, permitindo a sucção do ar do interior da câmara quando aberta. A outra válvula, atuando por modulação de largura de pulso, conecta a câmara ao ambiente externo, permitindo a entrada de ar.

O controle da temperatura da câmara foi realizado através de uma camisa alimentada por água proveniente de um banho termostático (marca Quimis, modelo Q214M2, Brasil). Os experimentos foram realizados em duplicata.

3.3.2.2 Preparo da amostra e da solução salina

Para o estudo da cinética da impregnação a vácuo foram utilizados mexilhões e soluções salinas preparadas de acordo com o item 3.3.1.1 e 3.3.1.2, respectivamente. As soluções salinas utilizadas foram com concentração de 5% (p/p) de sal, sendo as mesmas desaeradas previamente (2 h a 30 mmHg) para retirada dos gases dissolvidos, os quais ocasionariam uma variação na força de empuxo do sistema durante o período de vácuo. Ainda, para eliminar o efeito da saída de gases remanescentes na solução, ensaios sem as amostras foram realizados nas mesmas condições experimentais. Desta forma, os

resultados da cinética da impregnação foram corrigidos, eliminando a influência desses gases sobre a força resultante do sistema.

Para cada ensaio foram pesados aproximadamente 50g de mexilhões, em balança semi-analítica (Marte, AS2000C, Brasil). Os mesmos foram colocados num recipiente perfurado, próprio para os ensaios de cinética, e submersos na solução salina, no interior da câmara de vácuo. As amostras e a solução foram mantidas em aproximadamente 5,5 °C anteriormente e durante os ensaios.

Inicialmente sob pressão atmosférica, o sistema foi submetido à pressão absoluta de 100 mmHg (P_1) durante $t_1 = 600$ s (aproximadamente 145 s para redução de P_{atm} até P_1), após esse período a pressão foi restabelecida e o sistema permaneceu por mais 600 s (t_2) à pressão atmosférica (P_2).

3.3.3 Influência da intensidade do vácuo

Para avaliação da influência da intensidade do vácuo na variação de massa das amostras foi utilizado o mesmo aparato experimental e procedimentos descritos anteriormente para realização da cinética da impregnação. Os ensaios foram realizados nas pressões absolutas de 100, 200 e 300 mmHg. A Figura 3.5 apresenta as curvas de pressão para os três valores de pressão testados.

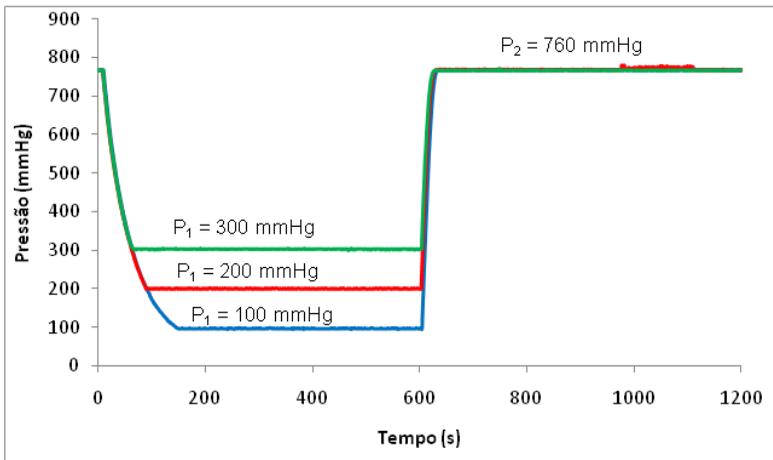


Figura 3.5. Curvas de pressão aplicadas nos ensaios para estudo da influência do vácuo na variação de massa.

3.3.4 Tratamento osmótico com aplicação de vácuo (impregnação a vácuo)

Para os ensaios do tratamento osmótico com aplicação de vácuo foi utilizado o equipamento apresentado no item 3.3.1.3 acoplado à câmara a mesma tampa do dispositivo utilizado na cinética de impregnação a vácuo, (item 3.3.2.1) para que fosse possível o controle da pressão no momento da aplicação do vácuo.

As amostras e a solução salina foram preparadas de acordo com os itens 3.3.1.1 e 3.3.1.2, respectivamente. A concentração de sal da solução foi de 5% (p/p), definida a partir da análise dos dados do tratamento osmótico à pressão atmosférica (itens 3.4.2.1 e 3.4.2.2), onde foi observado que nessa concentração é possível atingir maior ganho de água, recuperando parte da água dos mexilhões perdida no processo de cozimento-resfriamento a vácuo, e conteúdo de sal suficiente para obter um produto palatável.

No tratamento osmótico com aplicação de vácuo, uma pressão absoluta de 100 mmHg foi aplicada durante 5 minutos no início do tratamento, após esse período a pressão foi restabelecida e o ensaio foi mantido a pressão atmosférica por mais 2h55min. O tempo de vácuo foi definido a partir da cinética de impregnação, na qual foi observado que em menos de cinco minutos de vácuo o sistema apresentava uma variação constante da força resultante em função do tempo (item 3.4.3 - Figura 3.15). A duração do restante do experimento (2h55min) foi determinada com base nos dados de ganho de água e concentração de sal para o tratamento osmótico a pressão atmosférica em salmoura 5% (p/p), onde foi observado que entre 3 e 4h de tratamento o ganho de água e a concentração de sal foram semelhantes (itens 3.4.2.1 e 3.4.2.2).

Em cada ensaio foi utilizado um número suficiente de amostras para que a cada intervalo de tempo (30min, 1h, 2h e 3h) as mesmas fossem retiradas da solução em triplicata. Nesses intervalos foram determinados os parâmetros relativos ao ganho de água, ganho de sal e ganho de massa, conforme descrito no item 3.3.1.5. Em todos os casos os parâmetros obtidos foram comparados aos do tratamento osmótico a pressão atmosférica.

3.3.5 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se o *software* Statistica (StatSoft, versão 7.0, USA). Os valores do ganho de massa total, ganho de água e ganho de sal para o tratamento osmótico em diferentes concentrações de sal, para o estudo da influência do vácuo e para o tratamento osmótico com aplicação de vácuo, foram comparados através da Análise de Variância (*one-way* ANOVA) ao nível de probabilidade de 95%. No caso de efeitos significativos ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O texto a seguir apresenta as propriedades físico-químicas dos mexilhões utilizados nos experimentos. Os resultados obtidos para os parâmetros GM, GA, GS, % NaCl e a_w para os mexilhões submetidos ao tratamento osmótico, à pressão atmosférica, com diferentes concentrações de salmoura, são apresentados e discutidos. Em seguida são descritos os resultados da cinética de impregnação a vácuo e do estudo da influência do vácuo sobre a variação de massa das amostras, além dos resultados do tratamento osmótico com aplicação de vácuo.

3.4.1 Propriedades físico-químicas dos mexilhões cozidos a vapor e resfriados a vácuo

As propriedades físico-químicas dos mexilhões cozidos e resfriados a vácuo, utilizados nos ensaios de tratamento osmótico, são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Propriedades físico-químicas dos mexilhões cozidos a vapor e resfriados a vácuo.

Propriedade	Média ± Desvio padrão*
Teor de umidade (g água . g ⁻¹ amostra)	0,68 ± 0,01
Concentração de sal (g sal . g ⁻¹ amostra)	0,007 ± 0,002
Atividade de água	0,985 ± 0,004

* Média ± desvio padrão de determinações em triplicata.

3.4.2 Tratamento osmótico de mexilhões, cozidos e resfriados, à pressão atmosférica

3.4.2.1 Cinética do ganho de água pelos mexilhões

Na Figura 3.6 são apresentadas as cinéticas de ganho de água pelos mexilhões submetidos ao tratamento com soluções salinas de diferentes concentrações de sal (Cs). Foi observado que, quanto maior a

concentração de sal na salmoura, menor foi o ganho de água pelas amostras. As amostras tratadas com solução salina de 5% (p/p) de NaCl tiveram um ganho médio de água de 22 g de água/100 g de amostra no final do experimento, enquanto aquelas submetidas à solução salina de 20% (p/p) de NaCl atingiram um ganho médio de aproximadamente 3 g de água/100g de amostra, no final do experimento. Os valores do ganho de água foram diminuindo com o aumento da C_s , pois a diferença entre o potencial químico da água no produto e na solução externa é maior, devido o aumento da pressão osmótica da solução, ocasionando, conseqüentemente, um menor ganho de água. No entanto, cabe ressaltar a influência das forças capilares dos mexilhões, as quais superaram a pressão osmótica da solução, provocando o ganho de água pelas amostras.

Durante o experimento, foi observado que para as concentrações de 5%, 10% e 15% de sal as amostras obtiveram um ganho de água, enquanto que para a concentração de 20% o ganho de água diminuiu no decorrer do experimento. Nas concentrações de 5% a 15% ocorreu hidratação contínua das amostras e para a concentração de 20% o ganho de água diminuiu durante os experimentos. Isso ocorreu devido à pressão osmótica mais elevada na solução a 20% de sal. Contudo, a força osmótica não foi suficiente para superar as forças capilares e de sorção dos mexilhões, o que provocaria a perda de água pela amostra.

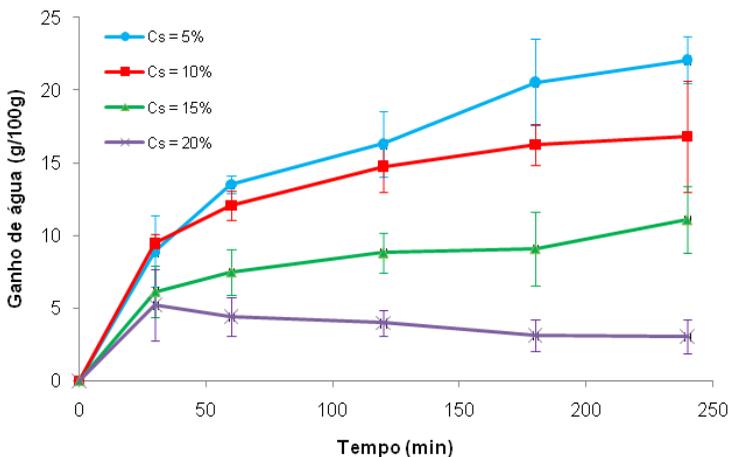


Figura 3.6. Cinética do ganho de água pelos mexilhões para diferentes concentrações de sal (C_s): 5% NaCl (●), 10% NaCl (■), 15% NaCl (▲) e 20% NaCl (x).

A Figura 3.7 apresenta o efeito da concentração de sal na solução (C_s) na cinética do ganho de água pelos mexilhões, na qual foi observado um comportamento aproximadamente linear (coeficiente de determinação (R^2) entre 0,956 – 0,991) do ganho de água (GA) em função da concentração de sal na solução (C_s), num determinado tempo de processo, efetuando-se o ajuste dos pontos experimentais a uma reta.

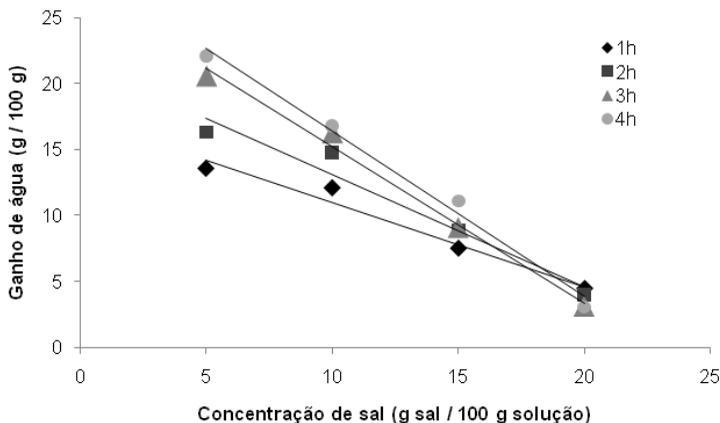


Figura 3.7. Efeito da concentração de sal na solução (C_s) na cinética do ganho de água (GA) pelos mexilhões imersos em salmoura.

Na Tabela 3.2 estão apresentadas as equações referentes aos ajustes lineares apresentados na Figura 3.7 e os coeficientes de determinação (R^2) para os tempos de processo analisados. Essas equações permitem estimar o ganho ou perda de água por amostras de mexilhões submetidas ao tratamento com soluções salinas de 5% a 20% de NaCl, nas condições estudadas.

A partir das equações apresentadas na Tabela 3.2 é possível estimar a faixa de concentração de sal da solução (C_s) referente ao ganho de água nulo ($C_s^{GA=0}$), ou seja, a C_s que proporciona o mesmo potencial químico da água na solução salina e na fase líquida do produto, em um determinado tempo de processo. A $C_s^{GA=0}$ indica o ponto de inversão do fluxo de água, ou seja, para uma $C_s < C_s^{GA=0}$ o processo é caracterizado pelo ganho de água (hidratação) e para uma $C_s > C_s^{GA=0}$ o processo é caracterizado pela perda de água (desidratação). Por exemplo, para o tratamento de 4h (Tabela 3.2), nas condições de processo estudadas, o ganho de água é nulo para concentrações de sal

acima de 23%, ou seja, para valores maiores que 23% ocorre desidratação e menores que 23% ocorre hidratação das amostras.

Tabela 3.2. Equações dos ajustes dos dados experimentais do ganho de água (GA) pelos mexilhões em função da concentração de sal na solução (Cs), para diferentes tempos de imersão.

Tempo (h)	Equação	R ²
1	GA = 17,34 – 0,64. Cs	0,968
2	GA = 21,70 – 0,86. Cs	0,956
3	GA = 27,12 – 1,19. Cs	0,991
4	GA = 28,95 – 1,26. Cs	0,989

* R² = coeficiente de determinação; GA = ganho de água (g/100g) e Cs = concentração de sal na solução (g sal/100g solução)

Schmidt (2006) estudou o tratamento osmótico de cortes de peito de frango *in natura* (salmoura 10%/5°C) e observou que para um tempo de processo de 4h a $C_s^{GA=0}$ foi aproximadamente 12%. Deumier *et al.* (2003) observaram no tratamento osmótico de carne de peru *in natura* (salmoura 26%/20°C) que para um tempo de processo de 4h a $C_s^{GA=0}$ foi aproximadamente 15,5%. As diferenças nos valores de $C_s^{GA=0}$ podem ser explicadas pelas condições de processo e pelo tipo de produto tratado em cada estudo.

3.4.2.2 Cinética do ganho de sal pelos mexilhões

Na Figura 3.8 estão apresentados os valores de ganho de sal (GS) pelos mexilhões para os diferentes tempos de processo e para as diferentes concentrações de salmoura utilizadas. Esses valores representam a quantidade de sal absorvida pelas amostras, desde o início do processo até o tempo de amostragem.

Conforme dados da Tabela 3.1, a concentração média inicial de sal nos mexilhões foi de 0,007 g sal/g amostra.

Observa-se pela Figura 3.8 que ocorreu um aumento no ganho de sal pelas amostras de mexilhões com o aumento da concentração de sal na solução. Esses resultados também foram observados por Medina-Vivanco (2003) para filés de tilápia crus, imersos em solução a 25% de

NaCl e por Nguyen *et al.* (2010) para pedaços de bacalhau crus, tratados com salmoura em diferentes concentrações (6, 15, 18 e 24%).

Para as concentrações de 5 e 10% de NaCl o ganho de sal sofre pequenos incrementos no decorrer do experimento, apresentando no final de 4h um aumento de 1,1 e 1,0 g /100 g, respectivamente, em relação a primeira hora do processo. Para as concentrações de 15 e 20% de NaCl o GS no final do experimento aumentou 2,5 e 3,6 g /100 g, respectivamente, em relação a primeira hora do processo.

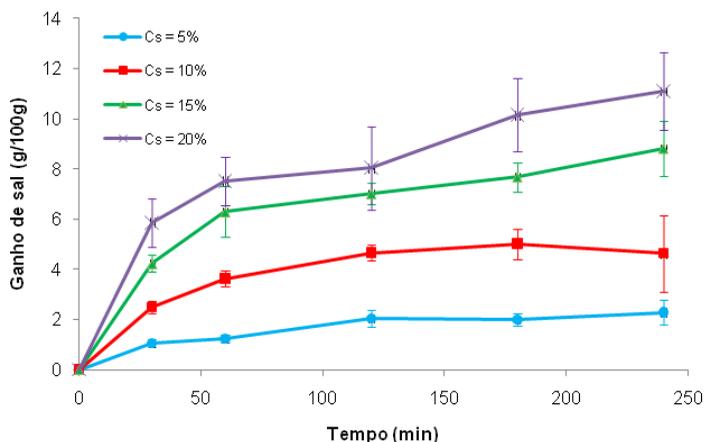


Figura 3.8. Cinética do ganho de sal pelos mexilhões para diferentes concentrações de sal (Cs): 5% NaCl (●), 10% NaCl (■), 15% NaCl (▲) e 20% NaCl (x).

A Figura 3.8 também mostra um incremento acentuado do ganho de sal na primeira hora de experimento. Isso foi devido ao gradiente de concentração entre a solução e a fase líquida do produto. Com o tempo, esse gradiente diminui com o aumento do conteúdo de sal nos mexilhões, podendo não haver mais trocas de massa no decorrer do tratamento, como observado para as concentrações de 5 e 10%.

A transferência de sal entre a solução e a fase líquida da amostra é explicada pelo mecanismo difusivo, responsável pela transferência de NaCl devido à diferença de concentração de sal entre a fase líquida do produto e a solução salina (SCHMIDT, 2006).

A Figura 3.9 apresenta o efeito da concentração de sal na solução (Cs) na cinética do ganho de sal pelos mexilhões. Observou-se um comportamento aproximadamente linear (coeficiente de determinação (R^2) entre 0,968 – 0,998) do ganho de sal (GS) em função da

concentração de sal na solução (C_s), num determinado tempo de processo, efetuando-se o ajuste dos pontos experimentais a uma reta.

Na Tabela 3.3 estão apresentadas as equações referentes aos ajustes lineares apresentados na Figura 3.8 e os coeficientes de determinação (R^2) para os tempos de processo analisados. Essas equações permitem estimar o ganho de sal pelas amostras de mexilhões submetidas ao tratamento com soluções salinas de 5% a 20% de NaCl, nas condições estudadas.

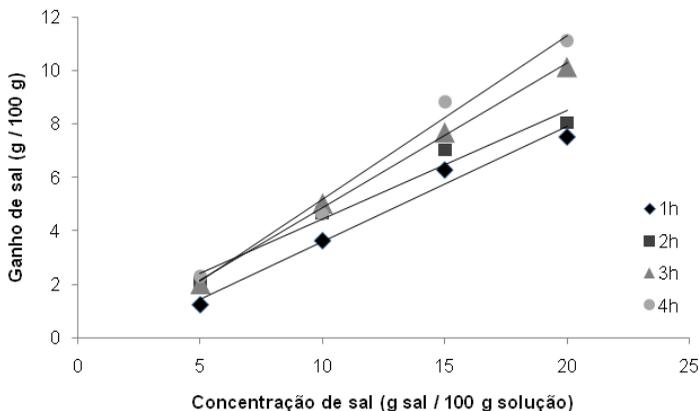


Figura 3.9. Efeito da concentração de sal na solução (C_s) na cinética do ganho de sal (GS) pelos mexilhões imersos em salmoura.

Tabela 3.3. Equações dos ajustes dos dados experimentais do ganho de sal (GS) pelos mexilhões em função da concentração de sal na solução (C_s) para diferentes tempos de imersão.

Tempo (h)	Equação	R^2
1	$GS = 0,43 \cdot C_s - 0,71$	0,980
2	$GS = 0,41 \cdot C_s + 0,36$	0,968
3	$GS = 0,54 \cdot C_s - 0,57$	0,998
4	$GS = 0,61 \cdot C_s - 0,94$	0,985

* R^2 = coeficiente de determinação; GS = ganho de sal (g/100g) e C_s = concentração de sal na solução (g sal/100g solução)

3.4.2.3 Diagrama operacional de salga de mexilhões

A partir dos ajustes lineares do ganho de água (GA) e do ganho de sal (GS) apresentados nas Tabelas 3.2 e 3.3, respectivamente, foi construído um diagrama operacional (Figura 3.10) para prever os valores do GA e do GS pelas amostras submetidas ao tratamento com solução salina, a determinada temperatura e concentração de sal (C_s), por um dado tempo de processo (1 a 4h).

As linhas pretas do diagrama (Figura 3.10) representam os valores do ganho de água (GA) e as linhas cinzas representam os valores do ganho de sal (GS). O tipo de linha (sólida, tracejada, etc.) indica o mesmo tempo de imersão (1h, 2h, 3h, 4h) para os dois grupos (GA-preta e GS-cinza).

De um modo geral, pelo diagrama, as soluções salinas menos concentradas proporcionam os maiores ganhos de água e as mais concentradas os maiores ganhos de sal. E quanto maior o tempo de imersão, maiores os ganhos.

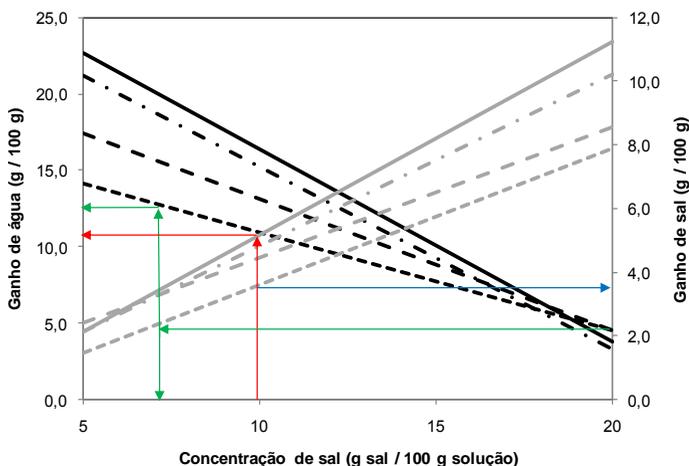


Figura 3.10. Diagrama operacional para o tratamento osmótico de mexilhões em soluções salinas a 5,5°C. As linhas pretas representam os valores do ganho de água (GA) e as linhas cinzas representam os valores do ganho de sal (GS). O tipo de linha (sólida, tracejada, etc.) indica o mesmo tempo de imersão (--- 1h - - - 2h - · - 3h ——— 4h) para os dois grupos (GA-preta e GS-cinza).

Para exemplificar o uso do diagrama operacional, na faixa de 5 a 20 ($\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$) de sal e temperatura de 5,5°C foi avaliada a seguinte

proposição, sendo os valores iniciais do ganho de água e do tempo de imersão aleatoriamente escolhidos:

a) Qual a concentração de sal na salmoura para se obter um ganho de água em torno de 10% num tempo de imersão de 1h?

Analisando o diagrama da Figura 3.10, para obter um produto com ganho de água em torno de 10% num tempo de processo de 1h, uma alternativa seria utilizar uma salmoura com 10 g sal/100 g solução. Nessa concentração de salmoura é possível obter um ganho de água de 10,9 g água/ 100 g amostra (flechas vermelhas) e um ganho de sal de 3,6 g sal/100 g amostra (flecha azul). Desta forma, considerando a perda de sólidos desprezível, a massa final da amostra de mexilhões seria 114,5 g (100 g de amostra + 10,9 g de água + 3,6 g de sal), portanto, os valores estimados para o ganho de água seria de 9,5% e para a concentração de sal seria de 2,4%, em relação a massa final do produto. Sendo necessário reduzir o conteúdo de sal, por exemplo, utilizando uma salmoura com 7 g sal/100 g solução (flechas verdes), para uma hora de processo, o ganho de sal seria de 2,3 g sal/100 g amostra e o ganho de água seria de 12,8 g água/100 g amostra, logo a massa final da amostra seria de 115,1 g (100 g de amostra + 12,8 g de água + 2,3 g de sal), considerando a perda de sólidos desprezível. Desta forma, o ganho de água e a concentração de sal seriam 11 % e 2%, respectivamente, em relação a massa final do produto.

Desta forma, o diagrama operacional proposto na Figura 3.10 poderia ser utilizado como uma ferramenta útil na definição de variáveis como concentração de sal na solução (Cs) e tempo de imersão em função das características desejáveis no produto (conteúdo de sal, teor de umidade). No entanto, este diagrama só é válido para as condições de processo estudadas, necessitando de adaptações quanto ao produto, outros ingredientes adicionados na salmoura, temperatura do processo, que influenciam diretamente no ganho de água e de sal pela amostra.

É importante observar que este diagrama serve como uma ferramenta de apoio, pois a decisão sobre as variáveis de processo do tratamento osmótico depende também das características tecnológicas e sensoriais próprias do produto (SCHMIDT *et al.*, 2008b).

3.4.2.4 Variação da concentração de sal (NaCl) nos mexilhões

A Figura 3.11 apresenta a variação da concentração de sal nas amostras durante o processo. Conforme esperado, a concentração de sal nas amostras aumentou com o aumento da concentração de sal na

solução. Os valores da concentração de sal nos mexilhões no final de cada experimento foram de 2,4, 4,4, 8,1 e 10,5 (g/100 g) para as soluções com 5, 10, 15 e 20% de NaCl, respectivamente.

Os produtos salgados para consumo humano imediato, dadas as suas características sensoriais de aceitação em relação ao conteúdo de sal, não devem apresentar teor de cloreto de sódio acima de 4% (ZAITSEV *et al.*, 1969 *apud* PEZANTES, 2006). O conteúdo de sal para pescados ligeiramente salgados deverá estar em uma faixa de 2 a 2,5%, embora o FDA sugira um nível de 3,5% de NaCl (PIGOTT e TUCKER, 1990).

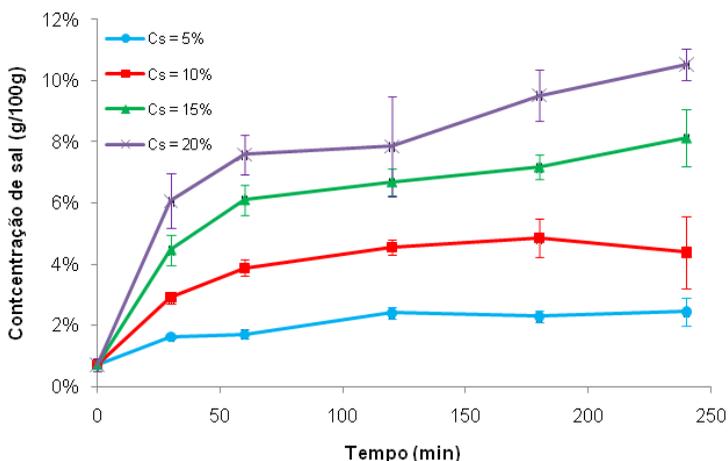


Figura 3.11. Cinética da concentração de sal nos mexilhões para diferentes concentrações de sal na salmoura (C_s): 5% NaCl (●), 10% NaCl (■), 15% NaCl (▲) e 20% NaCl (x).

De acordo com os valores relatados anteriormente, a imersão dos mexilhões em solução salina com 5 % de sal seria suficiente para atingir o teor de sal recomendado no produto final, nos tempos de imersão estudados.

3.4.2.5 Cinética do ganho de massa total pelos mexilhões

Na Figura 3.12 são apresentadas as cinéticas do ganho de massa total pelos mexilhões para os tratamentos com soluções salinas de diferentes concentrações. Foi observado que em todos os experimentos

houve um aumento de massa total no período estudado, sendo maior para as concentrações de 5% e 10% de sal. Para estas concentrações foram obtidos ganhos de aproximadamente 22,3% e 20%, respectivamente, no final dos experimentos. Para a solução com 15% de sal o ganho foi em torno de 18% enquanto que para a solução com 20% de sal o ganho foi de aproximadamente 15%.

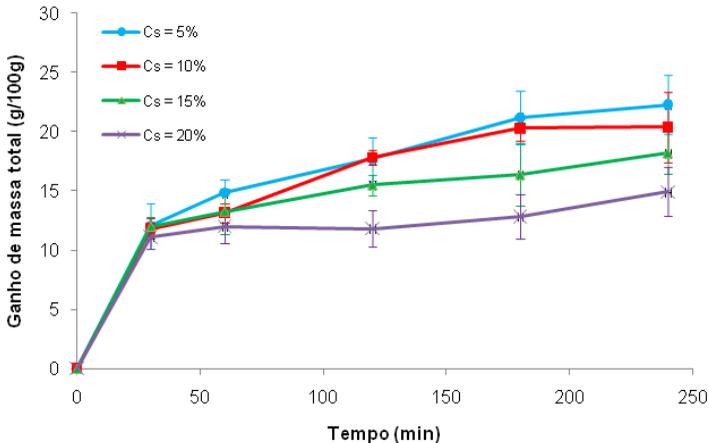


Figura 3.12. Cinética do ganho de massa total pelos mexilhões para diferentes concentrações de sal (Cs): 5% NaCl (●), 10% NaCl (■), 15% NaCl (▲) e 20% NaCl (x).

Nas condições experimentais estudadas os resultados mostraram que o procedimento de impregnação por imersão em salmoura afetou acentuadamente o ganho de massa total dos mexilhões, sendo que o mesmo diminuiu com o aumento da concentração de sal na solução salina.

O ganho de massa total compreende o ganho de água mais o ganho de sal. Tanto as quantidades de água quanto de sal influenciam as propriedades sensoriais do produto final. No entanto, não há valores regulamentados para a quantidade de água absorvida no processamento de mexilhões, como é o caso de carcaças de frango, somente a portaria do INMETRO número 38 (INMETRO, 2010) sobre a metodologia para verificação do peso líquido de pescados, moluscos e crustáceos congelados glaciados. Nas carcaças de frango congeladas, por exemplo, a quantidade de água resultante do descongelamento não pode ultrapassar 6% do peso da carcaça (BRASIL, 1998).

Gallart-Jornet *et al.* (2007b) estudaram a influência de diferentes concentrações de sal (4%, 10%, 15%, 18%, 25%) no ganho de massa de filés de salmão *in natura* e os resultados indicaram que a concentração da salmoura afetou significativamente as variações da massa total dos filés, sendo que o ganho de massa aumentou com a diminuição da concentração da salmoura. Estes mesmos autores observaram que para concentrações de salmoura de 4, 10, 15 e 18% ocorreu ganho de massa enquanto para a concentração de 25% houve perda de massa. Apesar das diferenças entre os produtos avaliados, de espécie e *in natura* ou cozido, o ganho de massa pelas amostras apresentou comportamento semelhante.

3.4.2.6 Variação da atividade de água (a_w) nos mexilhões

A Figura 3.13 apresenta a cinética da atividade de água (a_w) para as amostras de mexilhões durante o tratamento por imersão em salmoura. Em todas as concentrações estudadas foi observado uma diminuição da atividade de água, sendo que quanto maior a concentração de NaCl na solução, maior a redução da a_w , o que era esperado, pois maior a incorporação de sal, que é um depressor da a_w . Para os mexilhões cozidos e resfriados, a a_w média determinada foi de $0,985 \pm 0,004$. Para a solução a 5% de NaCl a a_w média no final das 4h de experimento foi de $0,977 \pm 0,002$. Para a solução a 10% de NaCl foi $0,950 \pm 0,003$. Para a solução a 15% de NaCl foi $0,916 \pm 0,004$ e para a solução a 20% de NaCl foi $0,872 \pm 0,011$.

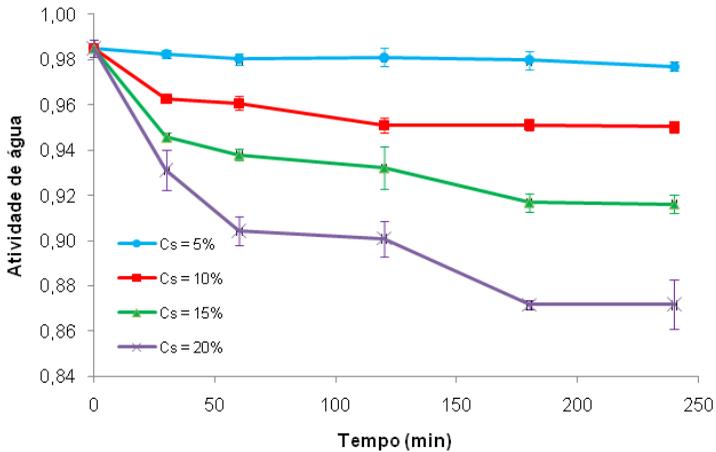


Figura 3.13. Cinética da variação da atividade de água dos mexilhões para diferentes concentrações de sal (C_s): 5% NaCl (●), 10% NaCl (■), 15% NaCl (▲) e 20% NaCl (x).

O intuito em reduzir a atividade de água (a_w) está em manter a estabilidade microbiológica do produto. A maior parte das bactérias deteriorantes não cresce em atividade de água menor que 0,91. Com relação as bactérias patogênicas em alimentos, por exemplo, *Staphylococcus aureus* cresce em a_w de até 0,86; micro-organismos comuns em moluscos, o *Clostridium botulinum tipo E* e o *Vibrio parahaemolyticus*, não crescem abaixo de 0,97 e 0,94, respectivamente (JAY, 2005). No entanto, somente para a concentração de 20% foi possível obter valores de atividade de água menores que 0,91. Para as demais concentrações a atividade de água foi maior que 0,91, ou seja, o tratamento osmótico nessas concentrações de sal não inibe o crescimento microbiano, sendo necessário combinar outros meios de preservação, como abaixamento do pH da solução, por exemplo.

3.4.2.7 Modelagem matemática do ganho de água e do ganho de sal pelas amostras de mexilhões durante o tratamento osmótico

a) Determinação do ganho de água (GA^{∞}) e do ganho de sal (GS^{∞}) no equilíbrio

Na Tabela 3.4 estão apresentados os valores do ganho de água e do ganho de sal no equilíbrio, para mexilhões tratados com diferentes soluções salinas, determinados pela Equação 3.6 (item 3.2.2.2). As Figuras 14.A e 14.B representam as equações das retas ajustadas pelo modelo de Azuara *et al.* (1992) aos dados experimentais do ganho de água e ganho de sal, respectivamente, para as diferentes concentrações de sal na solução.

Tabela 3.4. Ganho de água no equilíbrio (GA^{∞}) e ganho de sal no equilíbrio (GS^{∞}) para mexilhões submetidos ao tratamento osmótico em soluções salinas de diferentes concentrações de sal, a temperatura de 5,5°C.

Concentração de sal na salmoura (g/100 g solução)	GA^{∞} (g/100g amostra)	GS^{∞} (g/100g amostra)
5	29,0	3,0
10	19,5	5,2
15	12,8	10,1
20	2,7	13,7

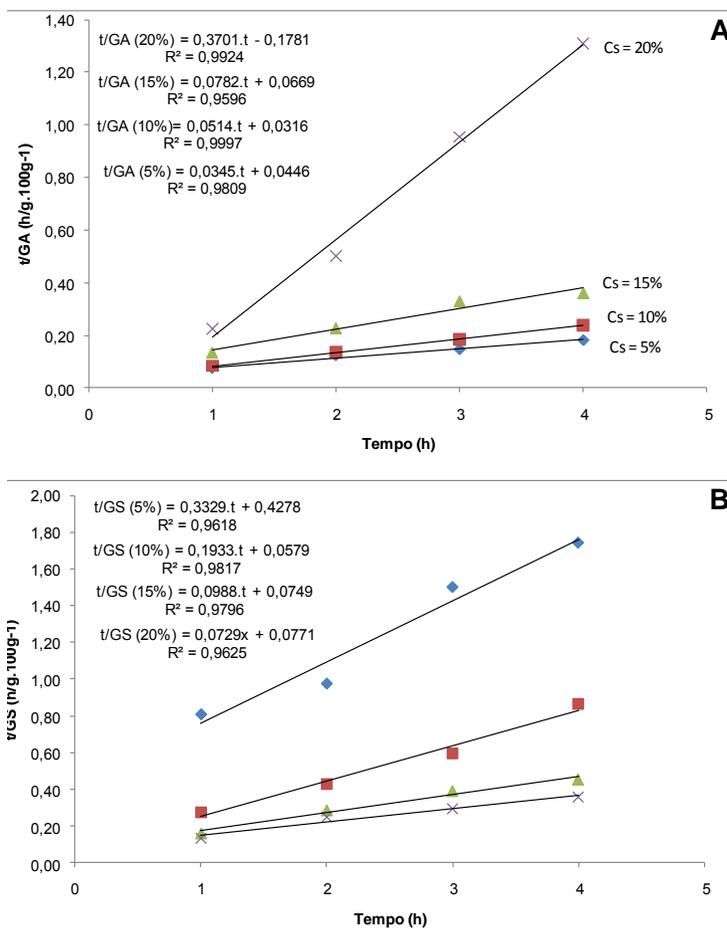


Figura 3.14. Ajuste da Equação 3.6 (item 3.2.2.2) aos dados experimentais do ganho de água (A) e ganho de sal (B) pelos mexilhões tratados com diferentes soluções salinas, no período avaliado.

b) Modelagem matemática do ganho de água (GA) e do ganho de sal (GS) utilizando o modelo de Peleg.

As Figuras 3.15.A e 3.15.B apresentam o ajuste do modelo de Peleg aos dados experimentais do ganho de água e do ganho de sal, respectivamente. As linhas representam os valores determinados pela Equação 3.7 (item 3.2.2.2) e os pontos representam os valores médios obtidos experimentalmente.

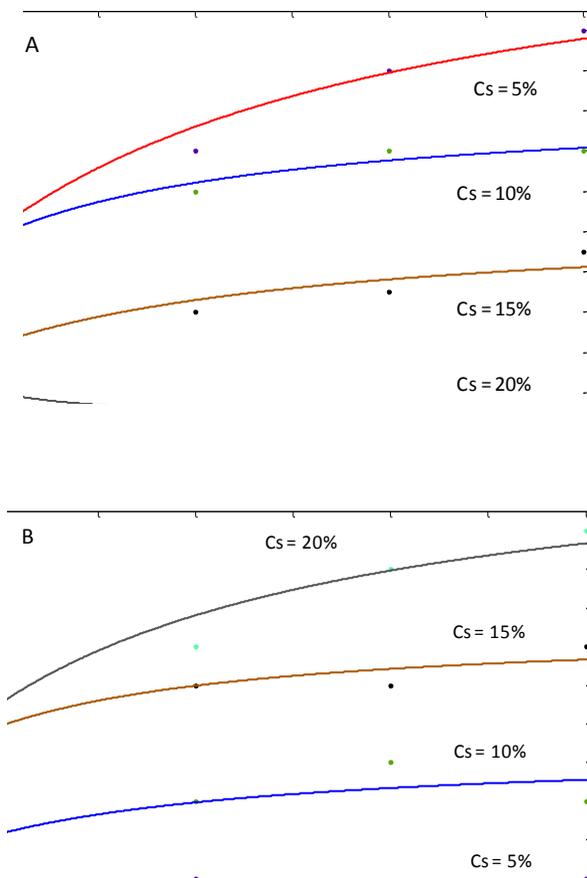


Figura 3.15. Cinéticas do ganho de água (A) e do ganho de sal (B) durante o tratamento osmótico de mexilhões e o ajuste do modelo de Peleg aos dados experimentais.

A Tabela 3.5 apresenta os parâmetros do modelo de Peleg para o ganho de água nas diferentes concentrações de salmoura, no intervalo de tempo avaliado.

Tabela 3.5. Parâmetros do modelo de Peleg e parâmetros estatísticos para a modelagem do ganho de água (GA).

GA (g.100g ⁻¹)	k ₁ (h (g/100 g) ⁻¹)	k ₂ (g/100 g) ⁻¹	R ²	RMSE
Cs = 5%	0,0471	0,0346	0,955	1,052
Cs = 10%	0,0297	0,0545	0,960	0,467
Cs = 15%	0,0747	0,0790	0,821	0,886
Cs = 20%	-0,126	0,378	0,940	0,151

* Cs = concentração de sal na solução; k₁ = taxa inicial de ganho de água; k₂ = parâmetro para determinar o ganho de água no equilíbrio; R² = coeficiente de determinação; RMSE = raiz do erro quadrático médio.

O parâmetro k₁ representa a transferência de massa inicial, ou seja, pequenos valores de k₁ indicam taxas de transferência de massa inicial altas. De acordo com os valores de k₁ a taxa inicial do ganho de água mais alta foi observada para a Cs de 10%. Para a Cs de 20% foi obtida a menor taxa inicial de ganho de água, além disso, o sinal negativo indica perda de água pela amostra. Apesar de ocorrer um pequeno ganho de água pelas amostras na Cs de 20%, o mesmo foi diminuindo com o tempo, caracterizando a tendência à perda de água (Figura 3.6). Os valores de R² e RMSE indicam que o modelo de Peleg foi capaz de representar satisfatoriamente a cinética do ganho de água durante o tratamento osmótico com salmoura a diferentes concentrações de sal, a pressão atmosférica. No entanto, para Cs = 5%, o valor de RMSE foi maior que 1, indicando um ajuste inadequado, o que também pode ser observado na Figura 3.15.A.

A Tabela 3.6 apresenta os parâmetros do modelo de Peleg para o ganho de sal nas diferentes concentrações de salmoura, no intervalo de tempo avaliado.

Tabela 3.6. Parâmetros do modelo de Peleg e parâmetros estatísticos para a modelagem do ganho de sal (GS).

GS (g.100g ⁻¹)	K ₃ (h (g/100 g) ⁻¹)	K ₄ (g/100 g) ⁻¹	R ²	RMSE
Cs = 5%	0,401	0,475	0,228	0,621
Cs = 10%	0,129	0,187	0,616	0,610
Cs = 15%	0,0506	0,118	0,852	0,385
Cs = 20%	0,0794	0,0739	0,902	0,702

* Cs = concentração de sal na solução; k₃ = taxa inicial de ganho de sal; k₄ = parâmetro para determinar o ganho de sal no equilíbrio; R² = coeficiente de determinação; RMSE = raiz do erro quadrático médio.

Os valores de k_3 indicam que a taxa inicial do ganho de sal foi maior para as concentrações de sal na salmoura (C_s) de 15 e 20%, o que era esperado devido à maior C_s . Os valores do RMSE indicam um ajuste satisfatório dos dados experimentais ao modelo, já os valores de R^2 indicam que o modelo de Peleg não representou o ganho de sal adequadamente, principalmente para as concentrações de 5 e 10%, o que também pode ser visto na Figura 3.15.B.

Corzo e Bracho (2006b) aplicaram o modelo de Peleg para descrever o comportamento da perda de água e ganho de sal de filés de sardinha crus durante a desidratação osmótica e obtiveram altos coeficientes de determinação ($R^2 > 0,92$) indicando a aceitabilidade do modelo de Peleg para representar a perda de água e o ganho de sal. Sobukola e Olantude (2010) estudaram a cinética de absorção de sal em peixes durante a salga em salmoura com diferentes concentrações de sal e temperatura, e aplicaram o modelo de Peleg, obtendo valores de RMSE muito pequenos (0,97 – 0,139), indicando que para propósitos práticos o modelo de Peleg é adequado para estimar o conteúdo de sal de filés de pescados, nas condições estudadas pelos autores.

3.4.3 Cinética de impregnação a vácuo

A determinação da cinética da impregnação a vácuo de mexilhões foi realizada pelo registro da força resultante sobre o sistema recipiente perfurado-amostras, dada pela diferença entre o peso e a força de empuxo associado ao mesmo, utilizando a célula de carga descrita no item 3.3.2.1. Na Figura 3.16 são apresentadas as curvas da cinética de impregnação a vácuo e a curva de pressão do sistema.

Inicialmente, à pressão atmosférica, o sistema recipiente perfurado-amostras foi submetido à pressão absoluta de 100 mmHg por 10 minutos (período de vácuo), sendo que esse valor foi obtido após cerca de 2,4 minutos. Em seguida, ocorreu o restabelecimento da pressão atmosférica e essa condição foi mantida por mais 10 minutos (período de relaxação).

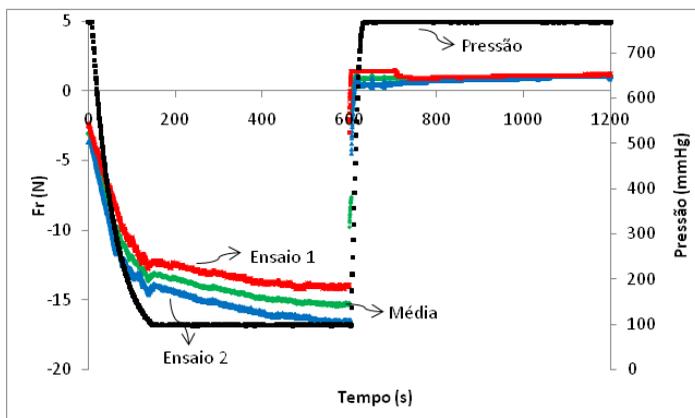


Figura 3.16. Evolução temporal da força resultante sobre o recipiente perfurado e sobre a amostra e da pressão total do sistema nos ensaios de impregnação a vácuo de mexilhões em solução salina 5% NaCl (p/p).

Pela análise das curvas da cinética foi possível observar os diferentes fenômenos que ocorreram durante o processo de impregnação a vácuo. Nos primeiros 5 minutos de vácuo, a Fr diminuiu devido um aumento da força de empuxo exercida pelo sistema recipiente perfurado-amostras, causado pela expansão do volume da amostra e saída da solução nativa presente nos poros, que é carregada pelo gás que sai da amostra. Entre 5 e 10 minutos a força resultante foi praticamente constante, o que indica que o equilíbrio do primeiro passo da impregnação a vácuo foi atingido nesse período, para a curva de pressão de 100 mmHg e amostra avaliada. Depois de restabelecida a pressão atmosférica, a força resultante apresentou um ligeiro aumento em relação à inicial devido ao aumento da força peso, indicando que ocorreu impregnação da amostra com a solução salina, o que pode ser verificado pelos parâmetros apresentados na Tabela 3.7.

Tabela 3.7. Valores do ganho de massa (GM), ganho de água (GA) e ganho de sal (GS) para as amostras de mexilhões no final do processo de impregnação a vácuo.

Parâmetros	Média ± Desvio Padrão*
GM (g.100 g ⁻¹)	22,3 ± 0,5
GA (g.100 g ⁻¹)	20,3 ± 0,7
GS (g.100 g ⁻¹)	1,54 ± 0,02

* Média ± desvio padrão de determinações em duplicata.

3.4.3.1 Influência da pressão na cinética da impregnação a vácuo

Para avaliar a influência do vácuo na cinética da impregnação a vácuo foram aplicadas as curvas de pressão da Figura 3.5 sobre o sistema recipiente cilíndrico-amostras e acompanhado a evolução com o tempo da Fr sobre o mesmo. As amostras e a solução salina (5% NaCl p/p) foram preparadas da mesma forma que para determinação da cinética da impregnação.

A Figura 3.17 apresenta a cinética de impregnação a vácuo para as três pressões avaliadas. É possível afirmar que a Fr sobre o sistema recipiente perfurado-amostra é significativamente afetada pelo vácuo exercido sobre o sistema. Quanto maior o vácuo, menores são os valores da Fr para o período de vácuo, devido ao maior empuxo provocado pela deformação da amostra (aumento do volume), devido à expansão dos gases dentro do poro, e saída do líquido interno levado com o gás que sai dos poros dos mexilhões durante a aplicação do vácuo. Com a saída dos gases e da solução nativa, quando a pressão é restabelecida ocorre o preenchimento dos poros com a solução externa, devido à ação do mecanismo hidrodinâmico. A troca do gás interno ou do líquido oclusos nos poros pela solução externa leva à modificação da composição da amostra.

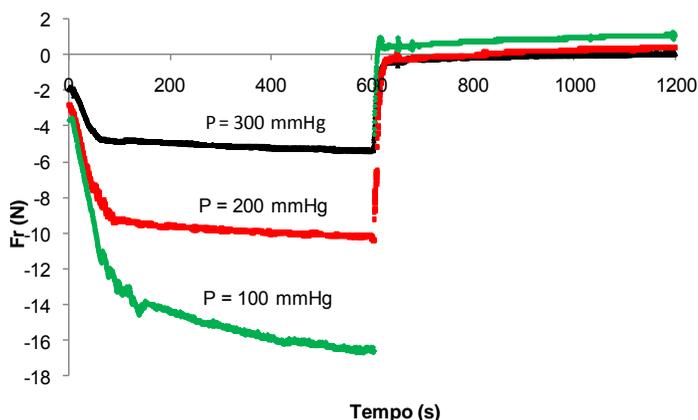


Figura 3.17. Curvas da cinética da impregnação a vácuo para as três pressões avaliadas.

A Tabela 3.8 apresenta os parâmetros de GM, GA e GS obtidos no final dos ensaios de impregnação realizados para verificar a influência do vácuo sobre os mesmos. Observou-se que quanto menor o

vácuo maior os ganhos de água e sal, conseqüentemente, de massa total. No entanto, o ganho de sal não difere significativamente para os diferentes níveis de vácuo. O maior efeito do vácuo foi no ganho de água.

Tabela 3.8. Parâmetros obtidos para as três pressões absolutas avaliadas.

Pressão (mmHg)	GM (g.100 g ⁻¹)	GA (g.100 g ⁻¹)	GS (g.100 g ⁻¹)
100	22,3 ± 0,5 ^a	20,3 ± 0,1 ^a	1,54 ± 0,02 ^a
200	20,3 ± 0,7 ^{a,c}	18,4 ± 0,1 ^a	1,34 ± 0,11 ^a
300	17,2 ± 0,6 ^{b,c}	15,9 ± 0,2 ^b	1,36 ± 0,15 ^a

* Médias na mesma coluna com letras diferentes são significativamente diferentes (P<0,05); GM = ganho de massa; GA = ganho de água; GS = ganho de sal.

3.4.4 Tratamento osmótico com aplicação de vácuo

Nas Figuras 3.18, 3.19 e 3.20 são apresentadas as cinéticas do ganho de água (GA), do ganho de sal (GS) e do ganho e massa total (GM) para os mexilhões submetidos ao tratamento osmótico a pressão atmosférica (IPatm) e ao tratamento osmótico com aplicação de vácuo ou impregnação a vácuo (IV) (P₁ = 100 mmHg durante os 5 minutos iniciais e P₂ = 760 mmHg durante as 2h55min subsequentes). Os valores apresentados representam médias obtidas de três repetições.

A Figura 3.18 apresenta a cinética do GA para IPatm e para IV. No período avaliado observou-se um GA significativamente maior para a IV nas primeiras duas horas de processo. No entanto, para terceira hora os valores foram significativamente semelhantes. O GA no final dos tratamentos foi de 20,6±3,0 (g.100g⁻¹) e 18,0±2,1 (g.100g⁻¹) para os processos IPatm e IV, respectivamente.

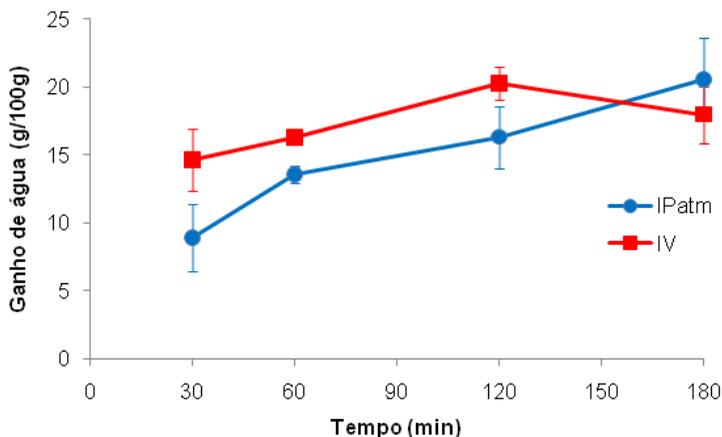


Figura 3.18. Cinéticas do ganho de água para o tratamento osmótico em solução salina a pressão atmosférica (IPatm) e com aplicação de vácuo (IV).

A Figura 3.19 apresenta a cinética do GS para IPatm e para IV. No período avaliado foi observado ganhos de sal maiores para a IV, no entanto os valores foram significativamente maiores somente para a primeira hora de processo. O GS no final dos tratamentos foi de $2,0 \pm 0,2$ ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) e $2,1 \pm 0,3$ ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) para os processos IPatm e IV, respectivamente.

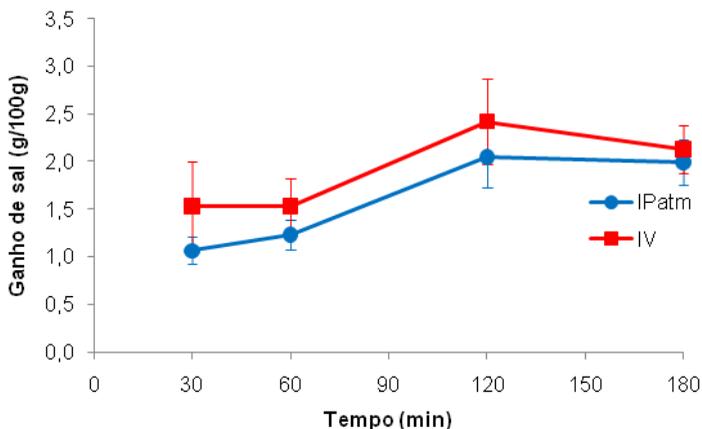


Figura 3.19. Cinéticas do ganho de sal para o tratamento osmótico a pressão atmosférica (IPatm) e para o tratamento osmótico com aplicação de vácuo (IV).

A Figura 3.20 apresenta a cinética do GM para IPatm e IV. No período avaliado foi observado ganhos de massa maiores para a IV, sendo os valores significativamente diferentes nas duas primeiras horas de processo, e semelhantes na terceira hora dos ensaios. O GM no final dos tratamentos foi de $21,2 \pm 2,3$ ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) e $20,2 \pm 2,8$ ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) para os processos IPatm e IV, respectivamente.

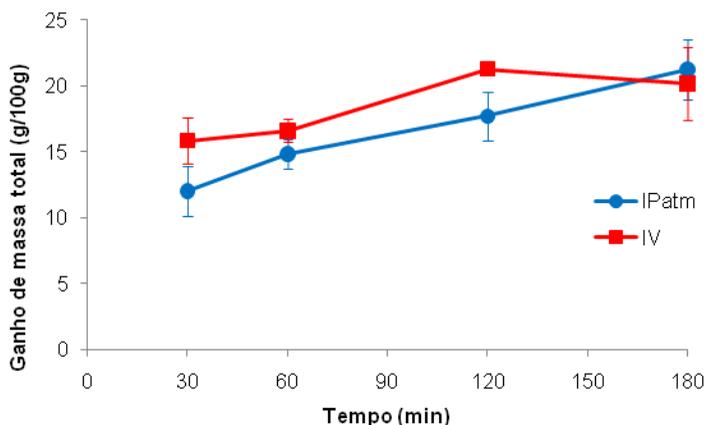


Figura 3.20. Cinéticas do ganho de massa total para o tratamento osmótico a pressão atmosférica (IPatm) e para o tratamento osmótico com aplicação de vácuo (IV).

Pela análise das Figuras 3.18, 3.19 e 3.20 foi observado um pequeno aumento dos ganhos de água, de sal e de massa, respectivamente, nas primeiras duas horas de processo para as amostras de mexilhões submetidas ao tratamento osmótico com aplicação de vácuo em relação ao tratamento a pressão atmosférica. O aumento dos ganhos no início da IV foi devido à ação do mecanismo hidrodinâmico (FITO, 1994), resultante dos gradientes macroscópicos de pressão, os quais ocorrem devido à aplicação de vácuo e posterior restabelecimento da pressão atmosférica, o que leva ao preenchimento dos espaços intercelulares da carne dos mexilhões pela salmoura, sendo que no restante do período as trocas de massa são dadas pelo processo difusivo. Na segunda hora de processo com aplicação de vácuo o ganho de água, o ganho de sal e o ganho de massa total tiveram um aumento de 24,3 %, 18,6 % e 20,2 %, respectivamente, em relação ao tratamento a pressão atmosférica. Para a terceira hora de processo os valores obtidos na IV foram menores, mas estatisticamente semelhantes ao obtidos na IPatm.

No entanto, os dados da IV apresentaram uma tendência positiva até a segunda hora dos ensaios e os desvios dos valores médios para terceira hora são elevados, o que pode ter sido ocasionado por erros nas determinações experimentais e pela variabilidade da amostra.

Os resultados obtidos na impregnação a vácuo de alimentos para a maioria das pesquisas têm mostrado vantagens expressivas com a aplicação de vácuo, no entanto a obtenção de bons resultados depende da microestrutura do alimento (porosidade, tamanho e forma do poro, tipo do fluido que ocupa os poros), propriedades de fluxo da solução externa e variáveis de processo (taxa de compressão, duração do período de vácuo, temperatura) (CHIRALT, *et al.*, 2001).

Neste contexto, um estudo posterior sobre a microestrutura dos mexilhões pode ajudar a compreender os efeitos da impregnação a vácuo nos mesmos.

3.5 CONCLUSÕES

Para o tratamento osmótico de mexilhões em soluções salinas, à pressão atmosférica, os resultados mostram que a transferência de massa e os parâmetros cinéticos durante o processo foram significativamente afetados pela concentração da salmoura.

Nas concentrações de salmoura avaliadas, foi possível recuperar parte da água perdida pelos mexilhões durante o processo de cozimento-resfriamento, porém não se observou a desidratação das amostras.

A partir dos dados do ganho de água (GA) e do ganho de sal (GS) em função da concentração de sal, num determinado tempo de processo, foram obtidas correlações lineares e com estas foi construído um diagrama operacional, com o qual é possível estimar o GA e o GS de acordo com as condições de tempo de processo e concentração de salmoura.

O estudo da cinética da impregnação a vácuo possibilitou determinar o tempo de aplicação de vácuo suficiente para que as trocas de massa entre a salmoura e os mexilhões fossem constantes, o que ocorreu em menos de cinco minutos.

A aplicação de vácuo no tratamento osmótico de mexilhões favoreceu o aumento do ganho de água, do ganho de massa e do ganho de sal no início do processo em relação aos valores obtidos no tratamento à pressão atmosférica, o que possibilita reduzir o tempo do tratamento osmótico.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉS, A., RODRÍGUEZ-BARONA, S., BARAT, J. M., FITO, P. Salted cod manufacturing: influence of salting procedure on process yield and product characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 69, p. 467 - 471, 2005.
- ANDRÉS, A., RODRÍGUEZ-BARONA, S., BARAT, J.M., FITO, P. Mass transfer kinetics during cod salting operation. **Food Science and Technology International**, v. 8 (5), p. 309–314, 2002.
- ANDRÉS, A. M. **Impregnación a Vacío en Alimentos Porosos. Aplicación al Salado de Quesos**. 1995. 195 p. Tese de doutorado – Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 1995.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**, seventeenth ed., Washington, DC. 2000.
- AZUARA, E., BERISTAIN, C.J., GARCIA, H.S. Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. **Journal of Food Science and Technology**, v. 29, p. 239–242, 1992.
- BARBOSA-CANOVAS, G. B.; VEGA-MERCADO, H. **Deshidratación de Alimentos**. 1ª ed. Zaragoza: Editorial ACRIBIA S. A. 2000. 297p.
- BARAT, J. M.; GRAU, R.; IBÁÑEZ, J. B.; FITO, P. Post-salting studies in Spanish cured ham manufacturing. Time reduction by using brine thawing-salting. **Meat Science**, v. 69 (2), p. 201-208, 2005.
- BARAT, J. M., RODRÍGUEZ-BARONA, S., ANDRÉS, A., FITO, P. Cod salting manufacturing analysis. **Food Research International**, v. 36, p. 447 – 453, 2003.
- BARAT, J. M., GRAU, R., MONTERO, A., CHIRALT, A. and FITO, P. Feasibility of brining of ham for curing. In: Proceedings of the 44th international congress of meat science and technology, v. II, p. – 970-971. Barcelona, Spain. 1998.
- BELLAGHA, S., SAHLI, A., FARHAT, A., KECHAOU, N.,

GLENZA, A. Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental kinetics and modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 947 – 952, 2007.

BOUDHRIOUA, N., DJENDOUBI, N., BELLAGHA, S., KECHAOU, N. Study of moisture and salt transfers during salting of sardine fillets. **Journal of Food Engineering**, v. 94, p. 83–89, 2009.

BUGUEÑO, G., ESCRICHEB, I., MARTÍNEZ-NAVARRETE, N., CAMACHO, M. M., CHIRALT, A. Influence of storage conditions on some physical and chemical properties of smoked salmon (*Salmo salar*) processed by vacuum impregnation techniques. **Food Chemistry**, v. 81, p. 85 – 90, 2003.

BUGUEÑO, G., ESCRICHE, I., CHIRALT, A., PÉREZ, M., SERRA, J.A. and CAMACHO, M. M. Use of vacuum impregnation in smoked salmon manufacturing. In P. Fito, A. Chiralt, J.M. 2001.

BUGUEÑO, G. **Salado ahumado de Salmon (Salmo Salar) por impregnación a vacío. Influencia del envasado en la calidad.** PhD. Thesis. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. **Métodos Analíticos Físico-Químicos, para Controle de Produtos Cárneos e seus Ingredientes – Sal e Salmoura.** Instrução Normativa n° 20, 21 de julho de 1999. Brasília, 1999. Disponível em: www.agricultura.gov.br. Acesso em: janeiro de 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Portaria n° 210 de 10 de novembro de 1998.** Disponível em: www.agricultura.gov.br. Acesso em: 01/12/2010.

CARCIOFI, B. A. M. **Dinâmica da impregnação a vácuo de meios porosos.** 2009. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CHIRALT, A., FITO, P., BARAT, J. M., ANDRÉS, A., GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C., ESCRICHE, I., CAMACHO, M. M. Use of vacuum impregnation in food salting process. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 141 – 151, 2001.

CHIRALT, A., FITO, P. Salting of Manchego type cheese by vacuum impregnation. In: P. Fito, E. Ortega and G. Barbosa (Eds.), **Food Engineering 2000**. New York: Chapman & Hall. 1997. p. 214-230.

COLLIGNAN, A., BOHUON, P., DEUMIER, F., POLIGNÉ, I. Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 153 – 162, 2001.

CORZO, O., BRACHO N., RODRÍGUEZ, J., GONZÁLEZ, M. Predicting the moisture and salt contents of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 781–790, 2007.

CORZO, O.; BRACHO, N. Equilibrium water and salt contents of sardine sheets during osmotic dehydration. **LWT**, v. 39, p. 357 - 363, 2006a.

CORZO, O., BRACHO, N. Application of Peleg model to study mass transfer during osmotic dehydration of sardine sheets. **Journal of Food Engineering**, 75 535–541, 2006b.

DEUMIER, F., TRYSTRAM, G., COLLIGNAN, A., GUÉDIDER, L., BOHUON, P. Pulsed vacuum brining of poultry meat: interpretation of mass transfer mechanisms. **Journal of Food Engineering**, v. 58, p. 85 – 93, 2003.

DEUMIER, F., COLLIGNAN, A., TRYSTRAM, G., BOHUON, P. Comparison of mass transfers of turkey meat immersed in brine at atmospheric pressure and under partial pulsed vacuum. In: Proceedings International Congress of Engineering and Food, ICEF 2000, Puebla, Mexico, 2000.

EMERENCIANO, M. G. C.; SOUZA, M. L. R.; FRANCO, N. P. Avaliação de técnicas de defumação para mexilhão *Perna perna*: análise sensorial e rendimento. **Boletim do Instituto da Pesca**, São Paulo, v. 34(2), p. 213 - 219, 2008.

FAO – Food and Agriculture Organization. Disponível em: <http://www.fao.org/wairdocs/tan/x5932e/x5932e01.htm>. Acesso em: 15 de julho de 2010.

FITO, P., CHIRALT, A., BARAT, J. M., ANDRÉS, A., MARTÍNEZ-

MONZÓ, J., MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 297 – 392, 2001.

FITO, P., ANDRÉS, A., CHIRALT, A., PARDO, P. Coupling of Hydrodynamic Mechanism and Deformation-Relaxation Phenomena During Vacuum Treatments in Solid Porous Food-Liquid Systems. **Journal of Food Engineering**, v. 27, p. 229 – 240, 1996.

FITO, P. Modeling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, v. 22, p. 313 – 328, 1994.

FITO, P., PASTOR, R. Non-diffusional mechanism occurring during vacuum osmotic dehydration (VOD). **Journal of Food Engineering**, v. 21, p. 513-519, 1994.

FUENTES, A., BARAT, J. M., FERNÁNDEZ-SEGOVIA, I., SERRA, J. A. Study of sea bass (*Dicentrarchus labrax L.*) salting process: Kinetic and thermodynamic control. **Food Control**, v. 19, p. 757 – 763, 2008.

FUENTES, A., FERNANDEZ-SEGOVIA, I., SERRA, J.A. and BARAT, J.M. Influence of the presence of skin on the salting kinetics of European Sea Bass. **Food Science and Technology International**, v. 13(3), p. 199–205, 2007.

GALLART-JORNET, L., BARAT, J.M., RUSTAD, T., ERIKSON, U., ESCRICHE, I., FITO, P. A comparative study of brine salting of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Journal of Food Engineering**, v. 79 , p. 261–270, 2007a.

GALLART-JORNET, L., BARAT, J.M., RUSTAD, T., ERIKSON, U., ESCRICHE, I., FITO, P. Influence of brine concentration on Atlantic salmon fillet salting. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 267 – 275, 2007b.

HOFMEISTER, L. C.; SOUZA, J. A. R.; LAURINDO, J. B. Use of dyed solutions to visualize different aspects of vacuum impregnation of Minas cheese. **LWT-Food and Science Technology**, v. 38, n. 4, p. 379-386, 2005.

HOFMEISTER, L. C. **Estudo da Impregnação a Vácuo em Alimentos Porosos**. 2003. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria n° 38 de 11 de fevereiro de 2010**. Disponível em: www.inmetro.gov.br. Acesso em: 20/02/2011.

JAY, J. M. **Microbiologia de Alimentos**. 6ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2005.

LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. 6ª Ed. Porto Alegre: Artmed, 2005, 384 p.

LEMONS, A. L. S. C., NUNES, D. R. M., VIANA, A. G. Optimization of the still-marinating process of chicken parts. **Meat Science**, v. 52, p. 227-234, 1999.

MAHARAJ, V., SANKAT, C. K. The rehydration characteristics and quality of dehydrated dasheen leaves. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 42(2), p. 81–85, 2000.

MEDINA-VIVANCO, M. L. **Desidratação osmótica em soluções ternárias, secagem e transições térmicas de filé de tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. 2003. 201 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, 2003.

MUJAFAR, S., SANKAT, C. K. The mathematical modeling of the osmotic dehydration of shark fillets at different brine temperatures. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 40, p. 1–12, 2005a.

MUJAFAR, S., SANKAT, C. K. The air drying behavior of shark fillets. **Canadian Biosystems Engineering**, v. 47, p. 3.11–3.21, 2005b.

MUJICA-PAZ, H., VALDEZ-FRAGOSO, A., LOPEZ-MALO, A., PALOU, E., WELTI-CHANES, J. Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 307 – 314, 2003.

NGUYEN, M. V., ARASON, S., THORARINSDOTTIR, K. A., THORKESSON, G., GUDMUNSDOTTIR, A. Influence of salt concentration on the salting kinetics of cod loin (*Gadus morhua*) during brine salting. **Journal of Food Engineering**, v. 100, p. 225 – 231, 2010.

OFFER, G., TRINICK, J. On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinking of myofibrils. **Meat Science**, v. 8, p. 245-281, 1983.

OLIVEIRA, F. A. R., OLIVEIRA, J. C. **Processing foods: quality optimization and process assessment**. CRC Press, USA. 1999. 415 p.

OSTROVSKI, A. **Fundamentos de la tecnología de los productos alimenticios**. Moscou: Mir. 1971. 322 p

PAES, S. S. **Estudo da Impregnação a Vácuo de Maçãs (Var. Gala)**. 2005. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PELEG, M. An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v. 53, p. 1216–1219, 1988.

PEZANTES, D. V. **Estudo das Operações Combinadas da Desidratação Osmótica a Vácuo, Defumação Líquida e Secagem em Filés de Bonito (*Sarda sarda*)**. 2006. 211p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PIGOTT, G. M., TUCKER, B. **Seafood: effects of technology on nutrition**. New York: Marcel Dekker, 1990. 362 p.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta Atmosfera**. 4ª ed. rev. Campinas, Fundação Cargill, 466p. 1985.

SALVATORI, A.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; FITO, P. The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. **Journal of Food Process Engineering**, v. 21, p. 59-73, 1998.

SCHMIDT, F.C., CARCIOFI, B.A.M., LAURINDO, J.B. Application of diffusive and empirical models to hydration, dehydration and salt gain during osmotic treatment of chicken breast cuts. **Journal of Food**

Engineering, v. 81, p. 553 – 559, 2009.

SCHMIDT, F.C., CARCIOFI, B.A.M., LAURINDO, J.B. Efeito da impregnação a vácuo na transferência de massa durante o processo de salga de cortes de peito de frango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 366 – 372, 2008a.

SCHMIDT, F.C., CARCIOFI, B.A.M., LAURINDO, J.B. Salting operational diagrams for chicken breast cuts: hydration–dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 36 – 44, 2008b.

SCHMIDT, F. C. **Estudo das trocas de massa durante o tratamento de cortes de peito de frango com soluções salinas**. 2006. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SOBUKOLA, O. P., OLATUNDE, S. O. Effect of salting techniques on salt up take and drying kinetics of African cat fish (*Clarias gariepinus*), **Food and Bioproducts Processing**, 2010. doi:10.1016/j.fbp.2010.06.002

SOMBRIO, P. S.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI, R. D. M. C.; BARRETO, P. L. M.; AMANTE, E. R. Avaliação tecnológica, microbiológica, química e física de conservas de mexilhões (*Perna perna*) embaladas a vácuo. **Boletim CEPPA**, v. 26, n. 2, p. 277-286, jul./dez. 2008.

SANJUÁN, N., CÁRCEL, J. A., CLEMENTE, G., MULET, A. Modeling of the rehydration process of broccoli florets. **European Food Research and Technology**, v. 212(4), p. 449–453, 2001.

TURHAN, M., SAYAR, S., GUNASEKARAN, S. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 153–159, 2002.

TURAN, H., SÖNMEZ, G., ÇELIK, M. Y., YALÇIN, M., KAYA, Y. Effects of different salting process on the storage quality of Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis* L. 1819). **Journal of Muscle Foods**, v. 18, p. 380 – 390, 2007.

VOLPATO, G.; MICHIELIN, E.M.Z.; FERREIRA, S.R.S.; PETRUS,

J.C.C. Kinetics of the diffusion of sodium chloride in chicken breast (*Pectoralis major*) during curing. **Journal of Food Engineering**, v. 79, p. 779-785, 2007.

WANG, D., TANG, J. and CORREIA, L.R. Salt diffusivities and salt diffusion in farmed Atlantic salmon muscle as influenced by rigor mortis. **Journal of Food Engineering**, v. 43, p. 115–123, 2000.
ZAITSEV, V.; KIZEVETTER, I.; LAGUNOV, L.; MAKAROVA, T.; MINDER, L.; PODSEVALOV, V. **Fish curing and processing**. MIR Publishers, Moscow, 1969.

CAPÍTULO 4

4 TRATAMENTO TÉRMICO DE MEXILHÕES EM EMBALAGENS FLEXÍVEIS TERMOPROCESSÁVEIS (*RETORT POUCHES*)

4.1 INTRODUÇÃO

Os mexilhões caracterizam-se como uma matéria-prima altamente perecível, necessitando de práticas adequadas para que a qualidade seja mantida por algum tempo, após a coleta. Na forma *in natura* apresentam uma vida útil bastante reduzida, de apenas 1 dia (GOULAS, 2005), devendo ser consumidos ou processados no menor tempo possível.

O tratamento térmico de alimentos é uma das formas mais aceitáveis de conservação e as embalagens flexíveis termoprocessáveis ou *retort pouches* são talvez o avanço mais significativo em embalagens de alimentos, desde o desenvolvimento das latas de metal. Desta forma, a esterilização ou a pasteurização de alimentos em *retort pouches* representa uma combinação tecnológica de processo, embalagem e produto. As *retort pouches* (RP's) são embalagens flexíveis de estruturas laminadas, termicamente processáveis, como as latas (AL-BAALI e FARID, 2006; ROJA JR, 2008). Além da vida útil estável, os alimentos processados nestas embalagens ficam protegidos de contaminações após o tratamento térmico.

Alguns trabalhos com pescados e frutos do mar têm sido realizados, estimulando o estudo do processamento de mexilhões em embalagens flexíveis termoprocessáveis. Entre as aplicações pode se destacar o uso das *retort pouches* para salmão (BYUN *et al.*, 2010a), tilápia (DHANAPAL *et al.*, 2010), camarão (MOHAN, 2008; VELIZ, 2008), vôngoles (BINDU *et al.*, 2007), atum (CRISTIANINI, 1998), entre outros. Atualmente, no Brasil, o uso destas embalagens já é realizado na comercialização de atum.

Estudos expressivos foram reportados por Skipnes *et al.* (2002) e Bindu *et al.* (2004) sobre o processamento de mexilhões em RP's. Skipnes *et al.* (2002) avaliaram a transferência de calor na pasteurização de mexilhões *in natura* embalados em RP's. Bindu *et al.* (2004) estudaram o processamento da carne de mexilhões em RP's, desenvolvendo produtos prontos para o consumo.

Desta forma, o tratamento térmico de mexilhões, *in natura*, na concha, ou cozidos e desconchados, em embalagens flexíveis termoprocessáveis, pode ser uma alternativa ao processamento destes moluscos.

4.1.1 Objetivo

“Estudar o tratamento térmico necessário para pasteurização de mexilhões *in natura*, acondicionados em embalagens flexíveis termoprocessáveis.”

E os objetivos específicos:

- a) Adaptar uma autoclave de escala laboratorial para realização dos ensaios de pasteurização de embalagens flexíveis termoprocessáveis, por imersão em água com sobrepressão;
- b) Realizar ensaios de distribuição de calor na autoclave;
- c) Realizar experimentos de penetração de calor no conjunto embalagem-mexilhões, variando o binômio tempo-temperatura de processo;
- d) Realizar análises microbiológicas dos mexilhões *in natura* e pasteurizados;
- e) Avaliar a estabilidade microbiológica de mexilhões pasteurizados em *retort pouches*, armazenados sob refrigeração.

4.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.2.1 Tratamento térmico - pasteurização

A conservação pelo uso do calor é um dos principais métodos aplicado na indústria de alimentos, visando melhorar a qualidade microbiológica, e prolongar a vida útil dos produtos alimentícios, além de desenvolver propriedades sensoriais. Os principais processos incluem a esterilização e a pasteurização (POTTER e HOTCHIKISS, 1995; PARKER, 2001)

A esterilização é o tratamento térmico que visa à destruição dos micro-organismos (células e esporos) presentes no alimento, aplicando altas temperaturas, resultando em produtos de vida útil longa, que podem ser armazenados à temperatura ambiente. A indústria de alimentos emprega a “esterilização comercial”, quando o produto não é necessariamente livre de micro-organismos, mas aqueles que sobrevivem não devem se multiplicar durante a estocagem, nem afetar a saúde pública, nem deteriorar o produto (FELLOWS, 2006).

A pasteurização é uma forma de processamento térmico que utiliza temperaturas moderadas para destruir bactérias patogênicas e organismos vegetativos, bem como reduzir a atividade enzimática, causando menores alterações nas propriedades sensoriais e nutricionais do alimento, prolongando a vida útil por dias ou semanas, sendo necessário que os produtos pasteurizados sejam refrigerados após o tratamento térmico (SMITH, 2003).

Alguns exemplos de produtos pasteurizados são a carne de caranguejo azul ($F_{85^{\circ}\text{C}} = 31$ minutos e $z = 9^{\circ}\text{C}$), produtos a base de surimi processados a uma temperatura interna de 90°C por pelo menos 10 min (MÉNDEZ e ABUÍN, 2006) e ostras embaladas em *retort pouches* e processadas a 75 a 76°C por 8 minutos (CHAI *et al.*, 1991).

4.2.1.1 Letalidade do processo e letalidade requerida para o processo

A caracterização da cinética de morte microbiana em termos do tempo de redução decimal (D) e da constante de resistência térmica (z) é o primeiro passo na especificação do processo térmico, sendo que estes valores dependem do micro-organismo alvo.

A letalidade requerida para o processo ($F_{\text{requerido}}$) é definida como o tempo requerido, à determinada temperatura, para reduzir a população

do micro-organismo alvo presente no alimento até níveis seguros, e pode ser calculada pela Equação A.2 do Apêndice A.

Através do conceito de letalidade é possível determinar o efeito global do processo térmico (F_{processo}), cuja temperatura varia com o tempo, em termos de tempo equivalente de processo a uma temperatura de referência (RODRIGUES, 1998), conforme as Equações A.3 e A.4, do Apêndice A. Se F_{processo} é maior do que $F_{\text{requerido}}$ o tratamento térmico aplicado está apropriado (DAVID *et al.*, 1996).

4.2.2 Embalagens flexíveis termoprocessáveis (*Retort pouches* – RP's)

Os primeiros experimentos realizados utilizando *retort pouches* para conservação de alimentos foram promovidos pelo exército norte americano, há mais de 60 anos, com o objetivo de desenvolver uma embalagem mais simples e prática para as rações militares. Na mesma época, foram iniciadas pesquisas na Europa e Japão. Muitos avanços foram alcançados e grandes companhias norte-americanas, japonesas e européias demonstraram interesse no novo tipo de embalagem, promovendo um grande impulso na utilização comercial da mesma (CARVALHO FILHO, 1996; CRISTIANINI, 1998).

No Brasil, as pesquisas com este tipo de embalagem destinada ao mercado de alimentos foram iniciadas em 1979 com o projeto “Processamento de Alimentos em Embalagens Flexíveis Esterilizáveis”, desenvolvido pelo Centro de Tecnologia de Embalagens de Alimentos (CETEA) do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) de Campinas – SP, aplicado a feijão, ervilhas, carne com legumes e atum em óleo. O CETEA também desenvolveu, a partir de 1981, o projeto “Processamento de Alimentos Pasteurizados em Embalagens Flexíveis”, para conservação de cogumelos e concentrado de tomates processados a menos de 100°C (CARVALHO FILHO, 1996; FREIRE, 1992). Alguns estudos também foram realizados na Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP, onde FREIRE (1992) avaliou a adaptação de uma autoclave vertical para permitir o processamento de embalagens flexíveis utilizando água aquecida ou misturas de vapor/ar. Carvalho Filho (1996) e Cristianini (1998), da mesma instituição, avaliaram o processamento de purê de banana e atum, respectivamente, em embalagens flexíveis esterilizáveis.

A aprovação final das embalagens esterilizáveis, para conservação de alimentos de baixa acidez, foi concedida somente em

1977 pela *Food and Drug Administration* (FDA) (AL-BAALI e FARID, 2007). Equipamentos e materiais plásticos têm sido desenvolvidos desde então com o intuito de adequar um maior número possível de alimentos a estas embalagens (SARANTÓPOULOS e JESUS JR, 2005).

As embalagens flexíveis termoprocessáveis ou “*retort pouches*” consistem numa bolsa flexível formada por um filme multicamada, que resiste às altas temperaturas do processamento térmico. O filme é composto por materiais que fornecem barreira a gases e vapor d’água. Após fechada hermeticamente, esta embalagem permite aos alimentos nela contidos receber um tratamento térmico, resultando em um produto de maior estabilidade (HOLDSWORTH e SIMPSON, 2007; DAL BELLO, 2007; CRISTIANNI, 1998).

As embalagens termoprocessáveis devem ser construídas com materiais inertes e atóxicos, com baixa permeabilidade a gases e umidade, baixa hidrofiliçidade, ter resistência a óleos e gorduras e outros alimentos, resistência física a impactos e abrasão e proporcionar uma perfeita termossoldagem, mantendo assim a hermeticidade após o tratamento térmico (CARVALHO FILHO, 1996).

A RP é produzida através do processo de laminação de diversas camadas de filmes distintos, cada um com um papel fundamental na obtenção das propriedades exigidas pela embalagem final. O processo de laminação das camadas é realizado com o uso de adesivos especialmente desenvolvidos para resistir ao processamento térmico (DAL BELLO, 2007).

A estrutura tradicional do laminado constitui-se de poliéster/folha de alumínio/polipropileno (BYUN *et al.*, 2010b). A camada externa de poliéster fornece alta resistência mecânica e térmica e facilidade de impressão; a folha de alumínio atua como barreira à luz, ao vapor d’água e a gases; e a camada interna de polipropileno é inerte, não reagindo com o alimento, e possui boa soldabilidade, permitindo obter termossoldagens de excelente resistência (HOLDSWORTH e SIMPSON, 2007; DAL BELLO, 2007).

Os filmes individuais mais utilizados para compor as camadas do filme final da RP são: PET – polietileno tereftalato (poliéster), Al – alumínio, NY – naylon, PA – poliamida, PET alox – PET recoberto com óxido de alumínio, PET siox – PET recoberto com óxido de silício e PP – polipropileno. Atualmente, as estruturas mais usadas são do tipo PET/AL/NY/PP, mas já com uma forte tendência para o uso do PETalox/NY/PP com propriedades de alta barreira a gases e vapor d’água (DAL BELLO, 2007). Filmes com óxido de silício e óxido de

alumínio oferecem várias vantagens tais como alta barreira a gases, utilizáveis em forno micro-ondas e transparentes (BYUN *et al.*, 2010a).

Alguns fatores têm sido determinantes na escolha de embalagens flexíveis termoprocessáveis para o processamento de alimentos (CRISTIANINI, 1998):

- a) *Economia de energia*: o estreito perfil e a grande área exposta da embalagem promovem um rápido aquecimento no interior do produto com reduções de 30 a 40 % de tempo de processo;
- b) *Aumento de qualidade*: a redução do tempo de processamento resulta em melhor sabor, cor e menor perda de nutrientes;
- c) *Economia de espaço*: o menor peso do conjunto produto/embalagem torna as RP's mais fáceis de transportar e armazenar do que latas ou vidros;
- d) *Conveniência de uso*: as embalagens flexíveis termoprocessáveis são fáceis de abrir e facilitam o preparo para o consumo imediato;

As principais desvantagens atribuídas ao processamento térmico de alimentos em RP's são (LOPEZ, 1981):

- a) Maior custo de investimento de equipamento para enchimento, selagem e processamento térmico;
- b) As operações de envase de bolsas são mais complexas e mais lentas que latas e vidros, devido à flexibilidade das mesmas;
- c) Possivelmente a velocidade de envase é o fator limitante da popularização desta embalagem. A velocidade de envase a vácuo das RP's pode chegar a 60 unidades por minutos, enquanto o enlatamento atinge 300 unidades por minuto (DAL BELLO, 2007).
- d) O processamento térmico das bolsas é mais complexo;
- e) A natureza flexível das RP's torna mais difícil a detecção de vazamentos e são mais facilmente perfuradas;

4.2.2.1 O processamento térmico de embalagens flexíveis termoprocessáveis – parâmetros críticos

As RP's têm sido processadas em autoclaves contínuas ou em batelada. Os meios de aquecimento utilizados no processamento são: vapor saturado, misturas vapor/ar e água com sobrepressão de ar. A

utilização de água com sobrepressão de ar proporciona um alto coeficiente de transferência de calor e oferece melhor controle de operação que as misturas vapor/ar (LOPEZ, 1981).

Geralmente, o processamento das RP's não utiliza autoclaves agitadas, ou seja, o processamento é feito de forma estática, sendo assim, a circulação do meio de aquecimento é importante para garantir a transferência de calor às embalagens. O meio de aquecimento deve transferir calor para a superfície do produto a uma taxa suficientemente alta para que a velocidade de aquecimento no ponto crítico dependa apenas das propriedades térmicas, tamanho e forma do alimento. Desta forma, a condição principal para se obter êxito no processamento de RP's está na adaptação do suporte de confinamento para as embalagens na autoclave, pois a conservação do limite de espessura máxima destas bolsas durante o processamento e a fácil circulação do meio de aquecimento através de espaços livres, irão garantir a integridade das embalagens, assim como, assegurar que o produto receba o valor de esterilização requerido (CARVALHO FILHO, 1996).

O processamento de embalagens flexíveis contendo alimentos, realizado na faixa de temperatura de 100°C a 121°C reduz consideravelmente a resistência das termossoldagens e favorece a expansão dos gases residuais não condensáveis, o que pode levar ao estouro ou comprometer seriamente a hermeticidade da embalagem (FREIRE, 1992). Desta forma, para melhor controle da integridade destas embalagens é necessário, além da boa qualidade do laminado e da perfeita termossoldagem, a adaptação da autoclave para conter a expansão máxima destas embalagens e o emprego de contrapressão de ar durante o processamento para evitar o rompimento das mesmas.

a) Termossoldagem das RP's

A termossoldagem pode ser definida como a fusão da área interna da embalagem pelo uso do calor e pressão, ou seja, é um processo no qual dois materiais soldáveis são unidos (CALLISTER, 2008). A ocorrência de fusão é imprescindível para obter uma selagem hermética.

Na indústria de alimentos, os métodos de termossoldagem mais utilizados são a barra aquecida e o impulso elétrico. A opção pelo método de termossoldagem depende de diferentes fatores, tais como: tipo de material a ser termossoldado, capacidade e formato da embalagem, velocidade da linha de produção e custo.

Variações na temperatura, na pressão e no tempo podem reduzir sensivelmente a resistência da solda. Durante o processamento de

embalagens termoprocessáveis contendo alimentos, a expansão térmica dos sólidos, líquidos e, particularmente, dos gases residuais pode produzir esforços sobre as termossoldagens conduzindo a uma diminuição da sua resistência mecânica e comprometendo a hermeticidade (FREIRE, 1992).

A determinação das condições ótimas de termossoldagem é muito importante para evitar que ocorra perda do produto embalado e/ou da embalagem, entre outros.

b) Volume máximo de enchimento

O volume máximo de enchimento é o maior volume de produto que pode ser colocado na embalagem sem ocorrer contaminação da solda. Devido à flexibilidade das embalagens termoprocessáveis, o volume máximo depende das características do alimento, da capacidade de contenção e material da embalagem e do tipo de equipamento usado na termossoldagem das mesmas. O excesso de produto nas embalagens poderá causar deformações no laminado e comprometer a integridade das mesmas. Além disso, uma possível contaminação da área de selagem pelo alimento poderá provocar falhas no fechamento das mesmas. O volume máximo de enchimento deve ser determinado por tentativa e erro e/ou seguindo orientações do fabricante da embalagem (FREIRE, 1992; CARVALHO FILHO, 1996)

c) Volume de ar residual

Existem muitas razões para remover os gases residuais da RP's, tais como: proteção da integridade da embalagem, transferência de calor uniforme durante o processamento, estabilidade do alimento, facilidade na detecção de possível contaminação por micro-organismos que produzem gás pós-processamento e melhor ajuste das embalagens nas embalagens secundárias (SKIPNES, 2002; LAMPI, 1977).

Para embalagens de 120 a 160g, são indicados 10 mL ou menos de ar residual, porém, para produtos mais sensíveis esse volume deve ser reduzido para 5 mL. No caso de produtos sólidos, com pouco ou nenhum líquido, a melhor opção é o acondicionamento a vácuo (BEVERLY *et al.*, 1980 *apud* ROJA JR, 2008).

A remoção do ar residual do espaço livre da embalagem previne o aumento excessivo da pressão interna e o comprometimento da eficiência da penetração de calor durante o tratamento térmico, além de minimizar as alterações físicas, químicas e sensoriais do produto durante a estocagem pelas reações de oxidação (ORTIZ, 1986).

d) Confinamento das RP's

A flexibilidade das RP's induz a necessidade de controlar a espessura máxima de expansão durante o tratamento térmico, para obter um aquecimento reprodutível. Para tanto, se recomenda que a embalagem seja mantida imobilizada através de bandejas especiais, cujo dimensionamento estabelece a espessura máxima a ser atingida pelas embalagens. Para favorecer a transferência de calor, essas bandejas devem ser perfuradas e se possível apresentarem parede dupla, de maneira a permitir boa transferência de calor entre camadas de embalagens (LOPEZ, 1981).

Em geral, o espaçamento entre as embalagens e as bandejas deve permitir uma expansão máxima das RP's de 20 mm (ORTIZ, 1986; FREIRE, 1992). Caso esta expansão máxima não seja controlada, haverá uma modificação do ponto de aquecimento mais lento dentro da bolsa, tornando assim, o processo inválido para as condições pré-estabelecidas. Neste caso, não é possível assegurar uma letalidade mínima no ponto crítico de aquecimento mais lento da embalagem (CARVALHO FILHO, 1996).

A construção das bandejas deve ser de modo a não danificar as embalagens, por exemplo, não apresentarem pontas e superfícies abrasivas.

e) Sobrepressão

A RP é formada pela selagem das arestas de dois filmes formando uma bolsa. Embora a selagem tenha uma resistência alta, à medida que o processamento térmico progride ocorre o aumento da temperatura e, conseqüentemente, o aumento da pressão interna da embalagem, devido à expansão dos gases oclusos no produto, inflando a mesma. Para que não ocorra a ruptura da solda ou mesmo do filme, esta pressão interna deve ser contrabalanceada por uma pressão externa à embalagem, cuja intensidade é ligeiramente superior à pressão de vapor interna à embalagem. A definição do valor da contrapressão tem como referência a pressão de vapor à temperatura em questão acrescida de 20 a 30 kPa (DAL BELLO, 2007)

Como medida de segurança, deve-se atuar com 20,7 kPa a 69 kPa de sobrepressão acima da pressão correspondente à temperatura de trabalho. Este procedimento assegura a imobilização das bolsas e previne uma possível expansão durante o termoprocessamento, não prejudicando a transferência de calor (CARVALHO FILHO, 1996).

4.2.3 O USO DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS NO PROCESSAMENTO TÉRMICO DE ALIMENTOS

O interesse da indústria pelo processamento de alimentos em embalagens flexíveis termoprocessáveis pode ser atribuído principalmente a três fatores: conveniência, aumento significativo da qualidade dos alimentos processados e um potencial de redução de energia (CRISTIANINI, 1998).

No mercado internacional, EUA e Japão são os principais detentores da tecnologia de processamento de embalagens flexíveis termoprocessáveis. Uma grande variedade de alimentos tem sido comercializada com sucesso nestes países. Entre os principais estão produtos prontos para consumo a base de carnes e legumes, sobremesas, pescados, principalmente atum e salmão, entre outros (SARANTÓPOULOS e JESUS JR, 2005).

No Brasil, a comercialização de alimentos em RP's ainda é incipiente, com destaque para molhos e carnes em molho. Com relação ao uso destas embalagens para pescados e frutos do mar apenas o atum é encontrado nos supermercados. Ao contrário de países como EUA, Japão, Nova Zelândia, entre outros, a diversidade de peixes e frutos do mar embalados em RP's é expressiva.

Com relação às pesquisas sobre o tratamento térmico de pescados e frutos do mar em embalagens flexíveis termoprocessáveis, diversos trabalhos são apresentados na literatura, na maioria das vezes comparando a esterilização de alimentos em *retort pouches* e latas, em diferentes tipos de embalagens e variações nas condições de processo.

Byun *et al.* (2010a) compararam a qualidade e a estabilidade durante a estocagem de salmão embalado em várias RP's. Os autores avaliaram embalagens de materiais possíveis de serem processados em forno microondas. As RP's mais comuns, com folha de alumínio, não podem ser aquecidas em microondas, assim novos filmes poliméricos com revestimentos finos de óxido de silício e óxido de alumínio foram testados, possibilitando o uso das RP's em microondas. No geral, o salmão embalado nas RP's com óxido de alumínio teve uma vida útil comparável aquele nas RP's com folha de alumínio, enquanto o produto embalado em RP com óxido de silício apresentou uma vida útil significativamente menor que as RP's com óxido de alumínio e folha de alumínio.

Dhanapal *et al.* (2010) desenvolveram um produto pronto para consumo a base de tilápia, enriquecido com ácidos graxos poliinsaturados, embalado em *retort pouches*. Os autores avaliaram a

influência do processamento térmico e a estocagem, a temperatura ambiente, na qualidade do produto.

Bindu *et al.* avaliaram o processamento de alguns pescados e frutos do mar em embalagens flexíveis desenvolvendo produtos prontos para o consumo a base de mexilhões (2004), vôngoles (2007) e anchova (2010). No caso dos mexilhões, os mesmos foram desconchados, fritos e termoprocessados na RP's. Foram colocadas 100 g de mexilhões fritos e temperados em cada embalagem. O processamento foi em autoclave a 121 °C e a pressão foi mantida em 193kPa. Para um F_0 de 9,8 min o tempo de processo foi de 35 min. O produto permaneceu em boas condições de consumo depois de um período de estocagem de 12 meses à temperatura ambiente.

Mohan *et al.* (2008) avaliaram o processamento térmico de camarões em *retort pouches* e latas de alumínio. O processamento em *retort pouches* resultou numa redução de 35,67% e 56,66% no tempo de processo, comparado com latas de peso igual. Os produtos embalados em *retort pouches* foram superiores àqueles acondicionados em latas em relação aos atributos sensoriais e de textura, como cor, firmeza, dureza, mastigabilidade e aceitação global.

Skípnes *et al.* (2002) estudaram a transferência de calor durante a pasteurização de mexilhões (*Mytilus edulis*) embalados em RP's. As embalagens contendo mexilhões (300g) foram pasteurizadas por 17, 25, 30 e 35 minutos a 100 °C e 80 kPa, em autoclave com spray de água superaquecida. Após a pasteurização foram estocadas a 5,5 °C por 4 semanas. Análises microbiológicas (contagem total de micro-organismos viáveis e esporulados aeróbicos e anaeróbicos) foram realizadas para avaliar o efeito do tratamento. Os melhores resultados foram para tempos acima de 25 minutos.

Cristianini (1998) realizou o estudo da distribuição de temperaturas durante o processo de esterilização de atum em salmoura nas embalagens flexíveis de tamanho institucional. A esterilização ocorreu em uma autoclave a 121°C, com água e sobrepessão de ar (138 kPa). O processo foi estabelecido para atingir um F_0 de 7 min, o qual permitiu obter um produto microbiologicamente estável. A adaptação da autoclave foi eficiente e as embalagens utilizadas apresentaram ótimo desempenho.

Chai *et al.* (1991) estudaram o processamento térmico de ostras em embalagens plásticas e sugeriram que o tratamento térmico de 75-76 °C por 8 minutos proporcionou um produto de melhor qualidade física e sensorial.

Os resultados dos estudos de diversos pesquisadores têm provado a viabilidade técnica e comercial da utilização de *retort pouches* para vários alimentos termoprocessáveis. Devido às vantagens do uso de *retort pouches*, como estabilidade na conservação, peso, espaço de armazenamento, facilidade de abertura e preparação, exposição ao calor reduzida, resultando na melhoria da qualidade, e economia de embalagens, vários trabalhos tem reportado o uso de *retort pouchs* para os mais variados produtos (MOHAN *et al.*, 2008).

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 4.1 apresenta o diagrama do tratamento térmico de mexilhões em embalagens flexíveis termoprocessáveis. Cada etapa envolvida nos ensaios será descrita a seguir.

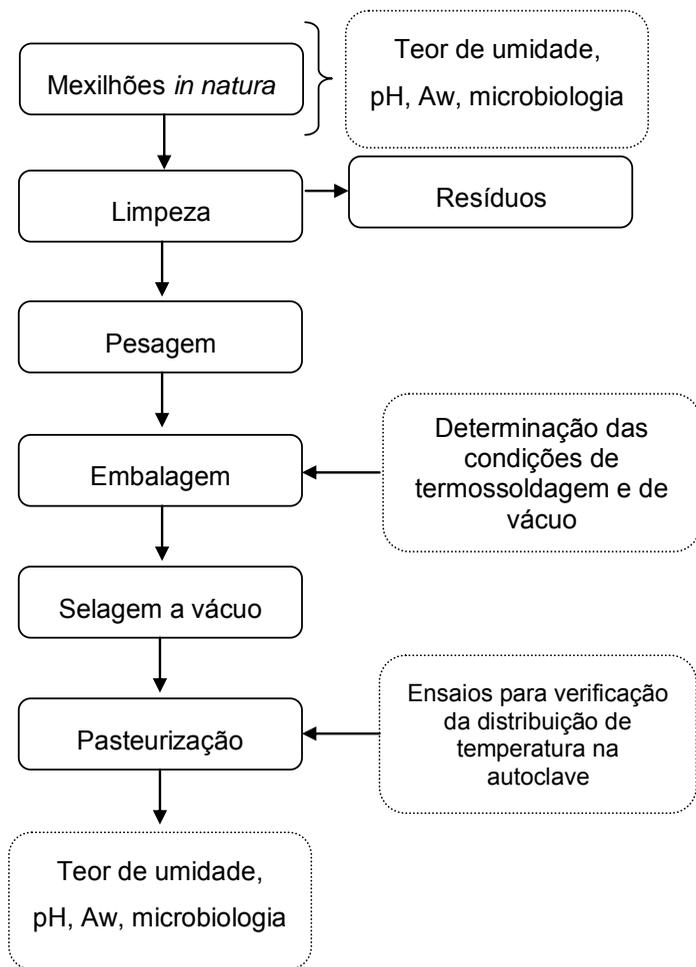


Figura 4.1. Diagrama das principais etapas do tratamento térmico de mexilhões em embalagens flexíveis termoprocessáveis.

4.3.1 Matérias-Primas

4.3.1.1 Mexilhões

Os mexilhões *in natura* foram fornecidos pela empresa Cavalo Marinho Beneficiamento de Frutos do Mar, localizada no Município de Palhoça-SC.

O preparo dos mexilhões iniciou com a retirada das incrustações aderidas às conchas, lavagem em água corrente e drenagem da água em excesso, sobre uma grade, por 5 minutos. Após essa etapa, os mexilhões *in natura* foram acondicionados nas embalagens termoprocessáveis e mantidos sob refrigeração (5 °C) até o momento do processamento térmico. A quantidade de mexilhões *in natura* colocados em cada embalagem foi de aproximadamente 300g.

4.3.1.2 Embalagens flexíveis termoprocessáveis (*retort pouches*)

As embalagens foram fornecidas pela empresa Lamine, de São Paulo. As *retort pouches* utilizadas consistem de um filme laminado, sendo os principais constituintes o polipropileno, o nylon e o poliéster. Possuem as seguintes características:

- *Estrutura*: 92% nylonpropileno, 7% poliéster e 1% adesivos.
- *Dimensões*: 250 mm x 250 mm
- *Espessura*: $0,155 \pm 0,005$ mm

A Figura 4.2 mostra as embalagens utilizadas nos experimentos.



Figura 4.2. Embalagens utilizadas no tratamento térmico de mexilhões.

Fonte: Autora (2010).

a) Determinação das condições de termossoldagem e de vácuo das embalagens

Para realização da termossoldagem e do vácuo nas embalagens contendo mexilhões foi utilizada uma seladora automática (Selovac, 200B, Brasil).

A otimização das condições de soldagem e vácuo foram determinadas a partir de ensaios variando os valores de termossoldagem e de vácuo de acordo com a programação da seladora, iniciando de valores mínimos até valores adequados. Foram testadas diferentes condições de soldagem, até que se atingisse uma termossoldagem ideal para a embalagem utilizada, avaliada visualmente. O vácuo foi realizado até que não ocorresse saída do produto (água dos mexilhões) da embalagem, contaminando a área de solda.

b) Avaliação visual da área de selagem

A avaliação visual do aspecto das soldas é uma técnica não-destrutiva na qual se observam dobras, rugas, irregularidades superficiais, bolhas e partículas oclusas na área de selagem do topo da embalagem.

Foi utilizado como critério uma escala proposta por Oliveira e Alves (1992), onde diferentes graus são atribuídos a aparência da área de solda das embalagens:

Grau 1 (G1): nenhuma alteração visível;

Grau 2 (G2): pequeno enrugamento pelo calor em até 50% da extensão da termossoldagem;

Grau 3 (G3): pequeno enrugamento pelo calor e/ou irregularidades superficiais em 50 a 100% da extensão da termossoldagem;

Grau 4 (G4): médio enrugamento pelo calor e/ou irregularidades superficiais em toda extensão da área de termossoldagem e perda de brilho;

Grau 5 (G5): acentuado enrugamento pelo calor e/ou irregularidades superficiais em toda a extensão da termossoldagem e perda de brilho.

c) Determinação do volume de ar residual

A selagem das embalagens foi otimizada de modo a permitir o maior vácuo possível, a fim de se obter um mínimo de ar residual no interior da embalagem. O volume de ar residual pode ser medido pelo método descrito por Campbell e Ramaswamy (1992). O método consiste em abrir cuidadosamente as embalagens debaixo d'água, permitindo que

os gases nela contidos escapem e sejam coletados por uma bureta invertida (CRISTIANINI, 1998), conforme esquema da Figura 4.3.

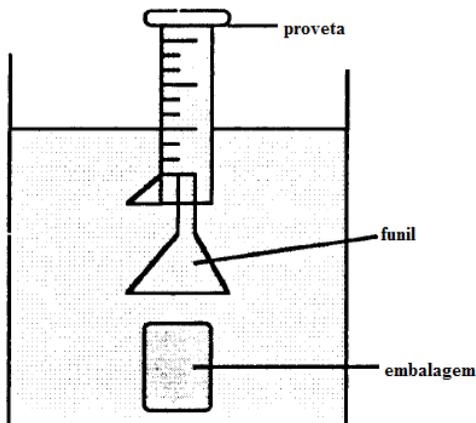


Figura 4.3. Esquema do ensaio para medida do ar residual das embalagens.

Fonte: Carvalho Filho (1996).

4.3.2 Equipamentos e processos

4.3.2.1 Adaptação da autoclave

O aparato experimental utilizado no processamento térmico de mexilhões em embalagens termoprocessáveis (Figura 4.4) está situado no Laboratório de Propriedades Físicas dos Alimentos – PROFI, no Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.

A autoclave (marca Phoenix, modelo AV-50, Brasil) utilizada nos experimentos é do tipo vertical, descontínua, com capacidade de 50L, equipada com um sistema de controle (marca Expectron, modelo Climflex PLUS, Brasil).

Para acomodação das embalagens dentro da autoclave foi construído um suporte (38 cm de altura, 33 cm de diâmetro) com bandejas, de aço inox, de 2 mm de espessura e 33 cm de diâmetro, perfuradas com furos de 20 mm de diâmetro. Entre as bandejas foram colocados separadores de aço inox, para intercalar embalagens e espaço vazio, facilitando a transferência de calor. Os separadores são de diversas dimensões (altura), possibilitando o processamento de vários

tamanhos de embalagens (Figura 4.4.B). No presente trabalho a distância entre os espaços vazios foi de 6 cm e entre as bandejas contendo as embalagens foi de 5 cm, limitando a expansão das embalagens em aproximadamente 2 cm .

Como meio de aquecimento foi utilizado água com sobrepressão. Para realizar a sobrepressão foi instalada na autoclave uma entrada para o ar comprimido. Este foi obtido por um compressor médico-odontológico isento de óleo (marca SCHULZ, modelo MSV 6/30, Brasil). O controle da sobrepressão foi realizado através de uma válvula manual, e os valores acompanhados por manômetro acoplado a autoclave.

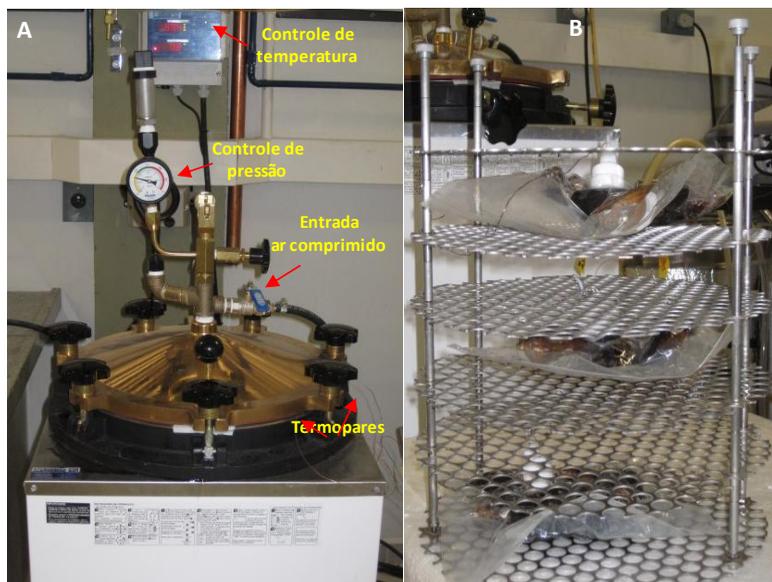


Figura 4.4. A – Aparato experimental utilizado no processamento térmico; B – Suporte para confinamento das embalagens.

Fonte: Autora, (2010).

4.3.2.2 Calibração dos termopares

Para monitorar a temperatura do processo foram utilizados termopares tipo T (marca IOPE, modelo TX-TF-TF-R-32AWG, Brasil), conectados a uma unidade de aquisição de dados (marca Agilent, modelo 34970A, Malásia). Os mesmos foram calibrados utilizando um

banho termostático (marca Quimis, modelo Q214M2, Brasil), na faixa de temperatura de 5 °C a 95 °C. Um termômetro de mercúrio aferido (marca Incoterm, modelo 28368/01, Brasil) foi utilizado como padrão. As curvas de calibração dos termopares estão apresentadas no Apêndice D.

4.3.2.3 Distribuição de temperatura na autoclave

O conhecimento da distribuição de calor na autoclave é necessário para avaliar a homogeneidade de temperatura e identificar possíveis pontos frios no interior da mesma.

A autoclave foi preenchida com água à temperatura ambiente (23 ± 1 °C) e o sistema de aquecimento, por resistência elétrica (3kW), foi acionado assim que o suporte com as embalagens foi inserido na mesma. O nível da água foi 5 cm acima do suporte de confinamento das RP's. Assim que a temperatura da água atingiu 100 °C foi aplicada a sobrepressão.

Os ensaios para avaliar a distribuição de temperaturas na autoclave foram realizados dispoendo embalagens com água entre duas bandejas, formando blocos. Foram confinadas três unidades com 300 g de água cada no suporte construído. O arranjo proposto pode ser visto na Figura 4.5.

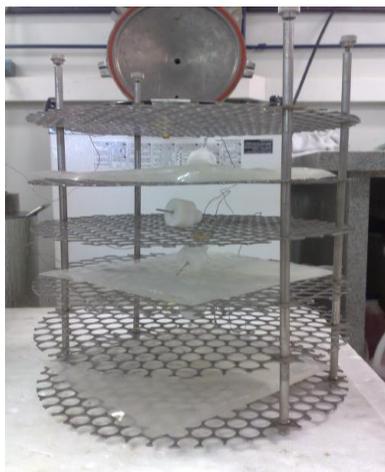


Figura 4.5. Arranjo das embalagens e termopares para os ensaios de distribuição de calor.

Fonte: Autora (2010).

A colocação das embalagens entre as bandejas evita a expansão das mesmas durante o processamento térmico e a separação dos blocos pelos espaçadores permite canais de circulação de água. A distância disponível para a expansão da bolsa foi de 2 cm e o espaçamento entre os blocos foi de 6 cm.

Os termopares foram distribuídos entre as bandejas e no topo, conforme a Figura 4.5, e fixados por meio de linhas, evitando contato direto da junta de medida com a bandeja de metal.

Os dados de temperatura foram obtidos através de um sistema de aquisição (marca Agilent, modelo 34970A, Malásia) em intervalos de tempo de 1 minuto. Ao atingir a temperatura constante, a aquisição dos dados foi mantida durante 10 minutos.

A temperatura da água de imersão foi de 100 °C com sobrepressão de 0,5 kPa. Os ensaios foram em duplicata.

4.3.2.4 Ensaios de penetração de calor nas embalagens flexíveis termoprocessáveis contendo mexilhões *in natura*

As embalagens flexíveis termoprocessáveis foram preenchidas com aproximadamente 300 g de mexilhões *in natura*, sendo que para cada ensaio realizado foram utilizados mexilhões de lotes diferentes.

Após a colocação dos mexilhões nas embalagens, as mesmas foram seladas a vácuo e processadas em autoclave, sem agitação, sob imersão em água a 100 °C com sobrepressão de 0,5 kPa, através da injeção de ar comprimido.

Durante os ensaios de penetração de calor foram registrados o tempo e a temperatura para obtenção das curvas de aquecimento e resfriamento (perfil de temperatura) do tratamento térmico dos mexilhões.

A temperatura no centro das embalagens foi medida a cada 10 segundos através de termopares tipo T, inseridos em tubos de inox e acoplados nas mesmas por um “niple” de teflon, constituído por um conjunto de roscas plásticas (Figura 4.6). Foi colocado um termopar em cada embalagem, sendo que a junta do mesmo foi disposta no interior de um mexilhão situado no centro da embalagem, conforme Figura 4.6.



Figura 4.6. Embalagem flexível termoprocessável contendo mexilhões e termopar acoplado através do “niple”. Em destaque, o tubo de inox contendo o termopar e inserido no “niple”.

Fonte: Autora (2010).

Foram realizados ensaios com três bolsas dispostas nas bandejas, conforme Figura 4.7.

A disposição dos termopares nos ensaios foi à seguinte:

- Sensor 1 (S1) – embalagem na posição superior;
- Sensor 2 (S2) – embalagem na posição intermediária;
- Sensor 3 (S3) – embalagem na posição inferior;
- Sensor 4 (S4) – meio de aquecimento (água).

A Tabela 4.1 apresenta as condições utilizadas nos ensaios de penetração de calor realizados. No ensaio 1, as embalagens com mexilhões foram colocadas na autoclave com a água de imersão à temperatura de 22 °C e, após atingir 100 °C, foram tratadas durante 30 minutos nessa temperatura. Nos ensaios 2, 3, 4 e 5 as embalagens com mexilhões foram colocadas na autoclave após o meio de aquecimento (água) atingir 100°C e mantidas nessa temperatura de acordo o tempo de processo descrito na Tabela 4.1. Os tempos de processo foram testados com base na literatura (SKIPNES *et al.*, 2002; CHAI *et al.*, 1991)

Após o tempo de processo de cada ensaio, o suporte de confinamento com as embalagens foi retirado da autoclave e imerso em água e gelo para resfriamento do produto até a temperatura de

aproximadamente 10 °C. Após o resfriamento, as embalagens foram armazenadas sob refrigeração (5 °C) para posterior análise.

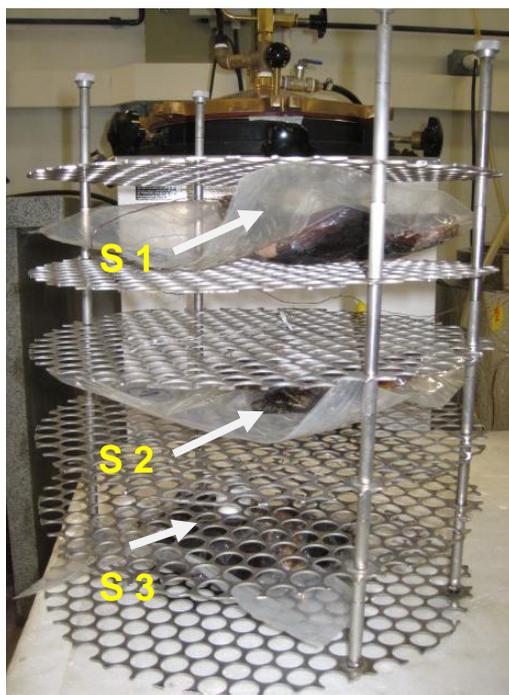


Figura 4.7. Embalagens dipostas no suporte de confinamento para posterior processamento.

Fonte: Autora (2010).

Tabela 4.1. Parâmetros de tempo e temperatura para os ensaios de penetração de calor nas embalagens flexíveis termoprocessáveis contendo mexilhões.

Ensaio	Parâmetros do processo	Temperatura inicial do meio de aquecimento (°C)	Tempo de processo (min)
1		22	30
2		100	30
3		100	25
4		100	10
5		100	5

4.3.3 Parâmetros do tratamento térmico

4.3.3.1 Determinação da letalidade requerida para o processo ($F_{requerido}$) e da letalidade do processo ($F_{processo}$)

Para o cálculo de $F_{requerido}$ e de $F_{processo}$ é necessário definir um micro-organismo relacionado ao produto para obter-se os parâmetros D e z . Desta forma, o micro-organismo selecionado para a avaliação da pasteurização de mexilhões em RP's pertence ao gênero *Pseudomonas*, a *Pseudomonas fluorescens*. Esta bactéria faz parte da microbiota natural de moluscos marinhos e desenvolve-se em temperaturas de refrigeração, sendo as principais deteriorantes (JAY, 2005). Para este micro-organismo os valores de $D_{60^{\circ}\text{C}}$ e z são 3,2 minutos e $7,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente (TUCKER E FEATHERSTONE, 2010).

Para fins de comparação, também foram efetuados os cálculos para o *Clostridium botulinum tipo E*, presente em peixes e frutos do mar (BREMNER, FLETCHER e OSBORNE, 2003). Juneja *et al.* (1995) determinaram a resistência térmica dos esporos de *Clostridium botulinum tipo E*, em tampão fosfato, sendo que os valores de D , na temperatura de 80°C , variaram de 1,03 a 4,51 minutos e os valores de z variaram de 8,35 a $10,08^{\circ}\text{C}$.

Para obter-se o valor de $D_{100^{\circ}\text{C}}$ utilizou-se a Equação A.5 do Apêndice A. O valor de $D_{100^{\circ}\text{C}}$ calculado para a *P. fluorescens* foi de $1,5 \cdot 10^{-5}$ minutos e para o *C. botulinum tipo E* foi de $4,7 \cdot 10^{-2}$ minutos, equivalente ao $D_{80^{\circ}\text{C}} = 4,51$ e $z = 10,08^{\circ}\text{C}$.

Para o processo de pasteurização uma diminuição no número de micro-organismos patogênicos e deteriorantes em 6 reduções decimais foi considerada (TUCKER e FEATHERSTONE, 2010; SKIPNES, 2002; FORSYTHE, 2002), portanto, $\gamma = 6$ (Eq. A.2) para o cálculo de $F_{requerido}$. O cálculo de $F_{processo}$ foi realizado a partir dos dados de tempo e temperatura do processo (Eq. A.3 e Eq. A.4). O valor de $F_{processo}$ para cada ensaio representa o menor valor obtido no processo (ponto frio).

4.3.3.2 Determinação da taxa de aquecimento (fh) e do fator de atraso do aquecimento (jh)

A taxa de aquecimento (fh) e o fator de atraso do aquecimento (jh) foram calculados pelo Método de Ball (BALL e OLSON, 1957),

considerando a temperatura do meio de aquecimento constante durante o processo térmico.

Para cada ensaio foi calculada a temperatura média de aquecimento (T_1) e construída a curva semilogarítmica de aquecimento ($\log(T_1 - T)$ versus tempo). Para o intervalo retílineo da curva foi ajustada uma reta por regressão linear, de acordo com a Equação 4.1. A taxa de aquecimento (fh) foi calculada como o inverso negativo da inclinação da reta.

$$\log(T_1 - T) = \frac{-1}{fh} t + \log[jh(T_1 - T_0)] \quad (4.1)$$

onde:

T_1 – temperatura do meio de aquecimento ($^{\circ}\text{C}$)

T – temperatura do produto ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 – temperatura inicial do produto ($^{\circ}\text{C}$)

t – tempo (min)

fh – taxa de aquecimento (min)

jh – fator de atraso do aquecimento

O fator de atraso do aquecimento (jh) foi calculado a partir da intersecção da reta no tempo zero, de acordo com a Equação 4.2:

$$jh = \frac{T_1 - T_a}{T_1 - T_0} \quad (4.2)$$

onde jh , T_1 e T_0 foram definidos anteriormente e T_a representa a temperatura pseudo-inicial do produto ($^{\circ}\text{C}$).

No item 4.4.3 apresenta-se um exemplo de uma curva semilogarítmica obtida nos ensaios realizados e a parte retílinea ajustada à uma reta (Figura 4.11).

4.3.4 Determinações analíticas

4.3.4.1 pH

Para determinação do pH das amostras foi utilizado um pHmetro (marca Quimis, modelo Q400A, Brasil). Os mexilhões foram retirados da concha, misturados com água destilada na proporção 1:1 e triturados.

O pH foi medido diretamente na mistura formada (AOAC, 1995). As medidas foram realizadas em triplicata.

4.3.4.2 Teor de umidade

O teor de umidade das amostras foi determinado através de secagem em estufa, com circulação de ar, a 105 °C, até peso constante (AOAC, 2000). As pesagens foram realizadas em balança analítica (marca Shimadzu, modelo AY220). Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

4.3.4.3 Atividade de água (a_w)

A atividade de água das amostras foi determinada através de um higrômetro (Aqualab Model Series 3, Decagon Devices Inc., Pullman, USA). Todas as medidas foram realizadas em duplicata.

4.3.4.4 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas dos mexilhões *in natura* e pasteurizados foram realizadas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos (LABCAL) do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, de acordo com a metodologia da Associação Americana de Saúde Pública (APHA, 2001). As análises realizadas foram contagem de estafilococos coagulase positiva e de coliformes termotolerantes (45 °C) e *Salmonella*, com base na Resolução n° 12 (Brasil, 2001). Também foram analisados micro-organismos psicrotóxicos, psicrófilos, mesófilos anaeróbios e *V. parahaemolyticus*.

4.3.5 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se o *software* Statistica (StatSoft, versão 7.0, USA). Os valores do teor de umidade, pH, atividade de água e dos parâmetros de aquecimento (fh e jh), para os diferentes ensaios realizados, foram comparados através da Análise de Variância (*one-way* ANOVA) ao nível de probabilidade de 95%. No

caso de efeitos significativos ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

4.3.6 Avaliação da estabilidade microbiológica dos mexilhões pasteurizados em embalagens flexíveis termoprocessáveis

Após estabelecidas condições apropriadas para o tratamento térmico de mexilhões, com base nas análises microbiológicas, foram realizados experimentos para avaliação da estabilidade microbiológica do produto armazenado sob refrigeração.

As condições definidas para o tratamento térmico foram 100 °C/5 min, pois os resultados das análises microbiológicas para os mexilhões pasteurizados a 100 °C por 5 minutos e por 10 minutos foram semelhantes.

Os mexilhões processados em embalagens flexíveis foram armazenados sob refrigeração (5 °C) durante 30 dias e amostras foram avaliadas a cada 7 dias.

Além da estabilidade microbiológica foram avaliadas alterações visuais da embalagem e medidas de pH.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Determinação das condições de termossoldagem e de vácuo da embalagem

Os parâmetros de tempo de vácuo e tempo de solda da seladora variam de 0 a 99 s e de 0 a 6 s, respectivamente. Os ensaios para as embalagens utilizadas foram realizados variando os valores dos menores para os maiores, conforme Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Resultados para os ensaios de termossoldagem e vácuo das embalagens utilizadas.

Ensaio	Tempo de solda (s)	Resultado	Ensaio	Tempo de vácuo (s)	Resultado
1	1,5	Não soldou	1	5	Insuficiente
2	2,0	Não soldou	2	15	Insuficiente
3	2,5	Fusão incompleta	3	20	Insuficiente
4	3,5	Fusão completa	4	25	Insuficiente
5	4,0	Fusão completa (G1)	5	30	Bom
			6	40	Ótimo

* G1 – grau 1 - nenhuma alteração visível na aparência da área de solda da embalagem, de acordo com a escala proposta por Oliveira e Alves (1992).

Diferentes condições de selagem foram testadas e uma condição ótima de fechamento das embalagens foi obtida para o tempo de 4s programado na seladora. As soldas foram avaliadas visualmente e classificadas de acordo com a escala proposta por Oliveira e Alves (1992). A condição de soldagem que proporcionou classificação de grau 1 foi considerada ótima, não apresentando bolhas ou enrugamento pelo calor e com boa fusão dos materiais. Nas condições determinadas, não houve problemas de vazamento durante o processo térmico.

Diferentes condições de vácuo também foram testadas definindo-se como valor apropriado a condição de 40 s na programação da seladora. Valores maiores provocaram a saída da água dos mexilhões, contaminando a área de soldagem.

As embalagens contendo mexilhões *in natura* foram seladas a vácuo, desta forma a quantidade de ar presente no interior das mesmas foi muito pequena, não sendo possível determinar o volume de ar

residual seguindo a metodologia padrão apresentada nos diversos trabalhos pesquisados (FREIRE, 1992; CARVALHO FILHO, 1996; CRISTIANNI, 1998; IFTPS, 2010).

4.2.2 Distribuição de temperaturas na autoclave

Devido à autoclave ter sido adaptada para o processamento das embalagens flexíveis termoprocessáveis, houve a necessidade de avaliar se o novo arranjo com bandejas e espaçadores poderia alterar a distribuição de calor no interior do equipamento. A identificação da região de aquecimento mais lento (ponto frio) é importante para avaliar a transferência de calor no interior da autoclave.

Segundo as recomendações da NFPA (Associação Nacional de Processadores de Alimentos, EUA), após um minuto que a temperatura de processo foi atingida, a diferença máxima de temperaturas entre quaisquer pontos dentro de uma autoclave não deve ser superior a 1,7 °C e devem estar em uma faixa de no máximo 0,9 °C da temperatura de referência (RAMASWAMY *et al.*, 1991 *apud* CRISTIANINI, 1998).

A Tabela 4.3 apresenta os resultados obtidos para a distribuição de temperaturas no interior da autoclave nas posições topo e entre os blocos 1, 2 e 3.

Tabela 4.3. Parâmetros obtidos nos ensaios de distribuição de calor na autoclave adaptada.

Parâmetros	Ensaio 1	Ensaio 2
Temperatura da autoclave (°C)	100	100
Diferença de temperatura entre termopares e temperatura do meio de aquecimento (°C)	T1 = 0,3 T2 = 0,1 T3 = 0,2	T1 = 0,1 T2 = 0,1 T3 = 0,3
Diferença máxima entre dois pontos (°C)	0,3	0,3
Ponto de aquecimento mais lento	Superior	Superior
Temperatura no ponto frio	99,7	99,6

* T1, T2, T3 correspondem as temperaturas dos sensores 1, 2 e 3, respectivamente, conforme Figura 4.7.

A Figura 4.8 apresenta a distribuição das temperaturas por posição no arranjo contendo 3 blocos, ou seja, a temperatura entre cada

bandeja (superior – T1, intermediária – T2, inferior- T3) e no topo da autoclave (meio de aquecimento) para um ensaio característico.

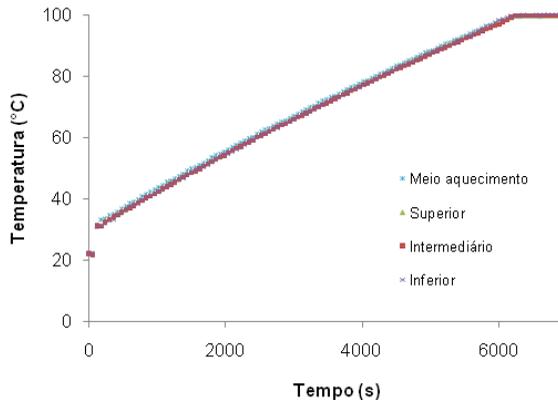


Figura 4.8. Perfis de temperaturas em diferentes posições no arranjo de três blocos (espaçamento de 6 cm) de embalagem mais bandejas.

Observa-se, pelos resultados da Tabela 4.3 e da Figura 4.8, que o arranjo proposto para o suporte de confinamento das embalagens teve pouca influência sobre a variação da temperatura no interior da autoclave, proporcionando uma boa distribuição de temperaturas, sendo a maior diferença de temperaturas encontrada de 0,3°C entre dois pontos quaisquer.

4.4.3 Penetração de calor nas embalagens contendo mexilhões

Os ensaios de penetração de calor permitiram determinar os perfis de temperatura no interior das embalagens durante o tratamento térmico. Foram testados quatro binômios temperatura/tempo: 100°C/30min (ensaios 1 e 2) e 100°C/25min (ensaio 3), 100°C/10min (ensaio 4) e 100°C/5min (ensaio 5). Os ensaios 1 e 2 diferem na temperatura inicial do processo: o ensaio 1 iniciou à temperatura ambiente e o ensaio 2 na temperatura de 100°C. Todos os ensaios foram realizados sob imersão em água com sobrepressão de 0,5 kPa.

A Tabela 4.4 apresenta os parâmetros de tempo e temperatura de cada ensaio realizado. No ensaio 1 as embalagens com mexilhões foram colocadas na autoclave com a água de imersão a temperatura de 22 °C,

consequentemente, o tempo de processo foi maior do que para os demais ensaios.

Tabela 4.4. Parâmetros do tratamento térmico para as diferentes condições de processo avaliadas.

Parâmetros do processo	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5
Temperatura inicial do produto (°C)	13,5±0,7	15,2±0,3	16±0,7	17,5±0,6	15,6±2,2
Temperatura inicial do meio de aquecimento (°C)	22	100	100	100	100
Tempo de subida (min.)	106,8±0,2	-	-	-	-
Temperatura final do produto (°C)	9,6±1,2	9,6±0,9	10,4±1,3	10,2±0,9	10,4±0,1
Temperatura final do meio de resfriamento (°C)	5,3	6,8	9,0	7,4	7,1
Tempo de aquecimento até 100°C (min.)	-	25,9±2,1	21,6±3,4	21,7±0,3	18,6±0,3
Tempo de pasteurização (min.)	30	30	25	10	5
Tempo de resfriamento (min.)	14,2±1,5	11,7±1,3	16,9±1,8	20,2±2,2	20,7±2,2
Tempo total de processo (min.)	151	67,6	63,5	51,9	44,3

A Tabela 4.5 apresenta os valores do teor de umidade, atividade de água e pH para amostras *in natura* e após o tratamento térmico. Os valores de pH dos mexilhões *in natura* foram semelhantes aos determinados nos trabalhos de Furlan (2004) e Salán (2005), sendo 6,46 e 6,28, respectivamente. Quanto ao teor de umidade, Salán (2005) encontrou valores de 0,83 (g.100 g⁻¹). Com relação à atividade de água, a literatura relata valores maiores que 0,95 (JAY, 1996). Portanto, os resultados para as amostras *in natura*, utilizadas no presente estudo, estão em conformidade com os valores apresentados na literatura, considerando as variações relativas aos mexilhões e ao período de coleta dos mesmos.

Tabela 4.5. Valores para teor de umidade, atividade de água e pH dos mexilhões *in natura* e pasteurizados em embalagens flexíveis termoprocessáveis nos diferentes ensaios realizados.

Parâmetros	Teor de umidade (g. 100 g ⁻¹)	Atividade de água	pH
<i>In natura</i>	0,80 ± 0,04 ^a	0,981 ± 0,008 ^{a,b}	6,54 ± 0,20 ^a
Ensaio 1	0,73 ± 0,01 ^a	0,982 ± 0,002 ^{a,b}	6,67 ± 0,02 ^a
Ensaio 2	0,69 ± 0,01 ^a	0,983 ± 0,001 ^{a,b}	6,82 ± 0,03 ^a
Ensaio 3	0,69 ± 0,01 ^a	0,977 ± 0,001 ^a	6,53 ± 0,03 ^a
Ensaio 4	0,70 ± 0,01 ^a	0,991 ± 0,001 ^b	6,50 ± 0,02 ^a
Ensaio 5	0,74 ± 0,02 ^a	0,988 ± 0,004 ^b	6,65 ± 0,26 ^a

* Médias na mesma coluna com letras diferentes indicam diferença significativa (P<0,05).

Os valores do pH e do teor de umidade não apresentaram diferenças significativas entre as amostras pasteurizadas nos diferentes binômios tempo/temperatura. Em geral, o teor de umidade de produtos cozidos diminui em relação aos produtos *in natura*, devido à ação do calor que desnatura as proteínas e, conseqüentemente, leva à perda de água no alimento (FENNEMA, 1996; TSCHEUSCHNER, 2001). No entanto, provavelmente pela variabilidade da amostra e por erros experimentais, a diferenças entre o teor de umidade de mexilhões *in natura* e processados termicamente não foi significativa. Quanto a atividade de água, a maioria dos valores foi acima de 0,98.

A Figura 4.9 apresenta os perfis de temperatura das embalagens e da temperatura do meio de aquecimento/resfriamento para os ensaios 1, 2, e 3 e a Figura 4.10 para os ensaios 4 e 5. Para a fase na qual a temperatura de processo é constante não ocorre diferença de temperatura entre as embalagens. No entanto, durante o aquecimento e o resfriamento, foram observados pequenos desvios da temperatura entre uma embalagem e outra, provavelmente pelas diferenças de tamanho entre os mexilhões no quais os termopares estão posicionados e, de abertura da concha durante o processamento, o que influencia a transferência de calor no interior dos mexilhões.

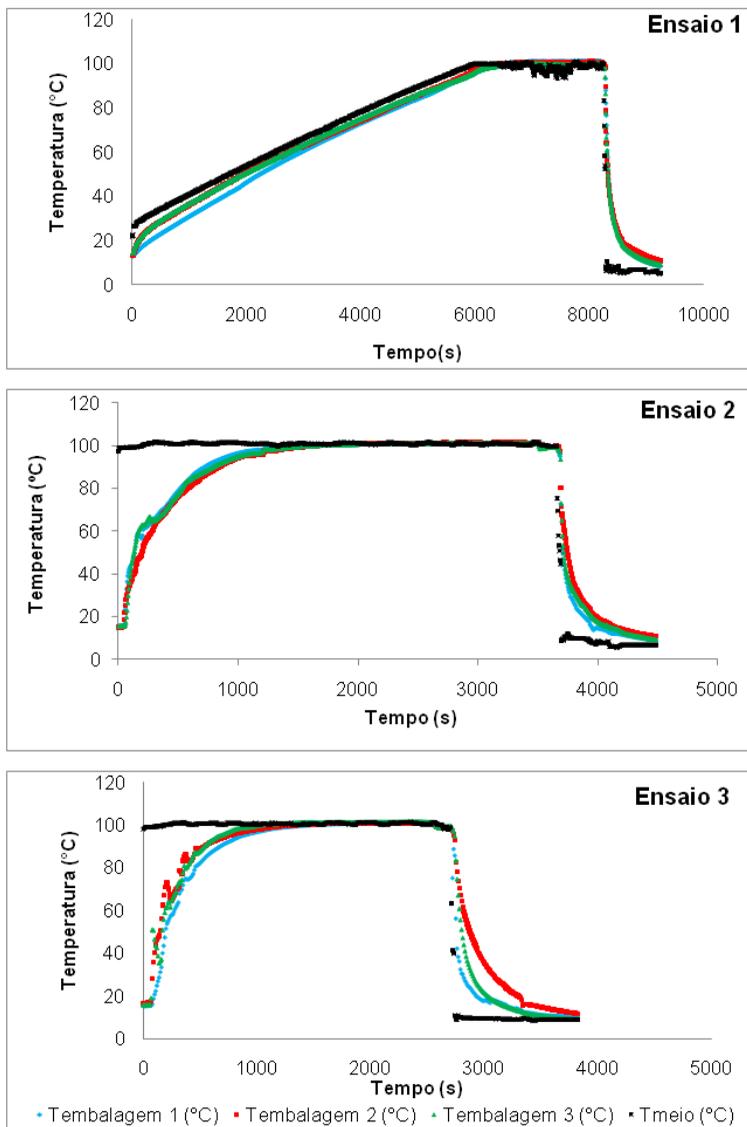


Figura 4.9. Perfis de temperatura para os ensaios 1, 2 e 3. As curvas $T_{\text{embalagem 1}}$, $T_{\text{embalagem 2}}$ e $T_{\text{embalagem 3}}$ representam as temperaturas das embalagens 1, 2 e 3, respectivamente, e T_{meio} representa a temperatura do meio de aquecimento/resfriamento.

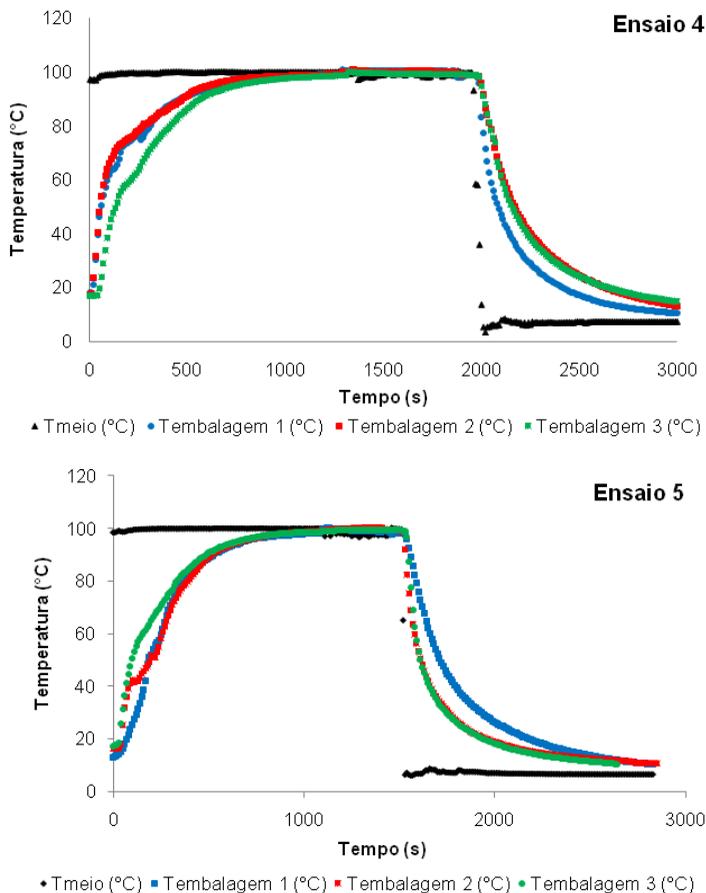


Figura 4.10. Perfis de temperatura para os ensaios 4 e 5. As curvas $T_{\text{embalagem 1}}$, $T_{\text{embalagem 2}}$ e $T_{\text{embalagem 3}}$ representam as temperaturas das embalagens 1, 2 e 3, respectivamente, e T_{meio} representa a temperatura do meio de aquecimento/resfriamento.

A Tabela 4.6 apresenta os valores de $F_{\text{requerido}}$ e F_{processo} para os mexilhões pasteurizados em embalagens flexíveis termoprocessáveis nos ensaios 2, 3, 4 e 5. Para o ensaio 1 não foram calculados os valores de F_{processo} , pois as condições deste ensaio foram descartadas, tendo em vista que os mexilhões apresentaram um amolecimento da carne, verificado visualmente.

Tabela 4.6. Valores da letalidade requerida pelo processo ($F_{\text{requerido}}$) e valores da letalidade total do processo (F_{processo}) de pasteurização de mexilhões *in natura*.

Pasteurização	<i>Pseudomonas fluorescens</i>		<i>Clostridium botulinum tipo E</i>	
	F_{processo} (min)	$F_{\text{requerido}}^*$ ($\times 10^{-5}$ min)	F_{processo} (min)	$F_{\text{requerido}}^*$ (min)
Ensaio 2	53,1	9,0	50,2	0,3
Ensaio 3	31,7	9,0	31,5	0,3
Ensaio 4	14,2	9,0	16,0	0,3
Ensaio 5	9,0	9,0	10,4	0,3

* $F_{\text{requerido}}$ calculado com base nos valores de $D_{100^{\circ}\text{C}} = 1,5 \times 10^{-5}$ e $z = 10^{\circ}\text{C}$ para *P. Fluorescens* e de $D_{100^{\circ}\text{C}} = 4,7 \times 10^{-2}$ e $z = 10,08^{\circ}\text{C}$ para *C. botulinum tipo E*, considerando 6 reduções decimais (Equação A.2 do Apêndice A).

Para todos os ensaios os valores de F_{processo} foram maiores que o $F_{\text{requerido}}$, indicando que o tratamento térmico possibilitou a destruição dos micro-organismos *P. fluorescens* e *C. botulinum tipo E*, assim como de outros de menor resistência térmica (*Salmonella*, *Vibrio*), atingindo o objetivo do processo de pasteurização.

A Tabela 4.7 apresenta a taxa de aquecimento (fh) e o fator de atraso do aquecimento (jh), calculados para cada ensaio realizado, e a Figura 4.11 representa um exemplo da curva semilogarítmica e do ajuste de uma reta para a determinação dos parâmetros do tratamento térmico (fh, jh) pelo método de Ball.

Tabela 4.7. Parâmetros fh e jh do tratamento térmico de mexilhões *in natura* embalados em embalagens flexíveis termoprocessáveis, determinados pelo método de Ball.

Pasteurização	Taxa de aquecimento – fh (min)	Fator de atraso – jh
Ensaio 2	$13,82 \pm 1,66^a$	$1,07 \pm 0,11^a$
Ensaio 3	$11,03 \pm 1,89^{a,b}$	$1,01 \pm 0,31^a$
Ensaio 4	$9,57 \pm 0,55^b$	$0,95 \pm 0,23^a$
Ensaio 5	$8,36 \pm 0,58^b$	$1,28 \pm 0,30^a$

* Médias na mesma coluna com letras diferentes indicam diferença significativa ($P < 0,05$).

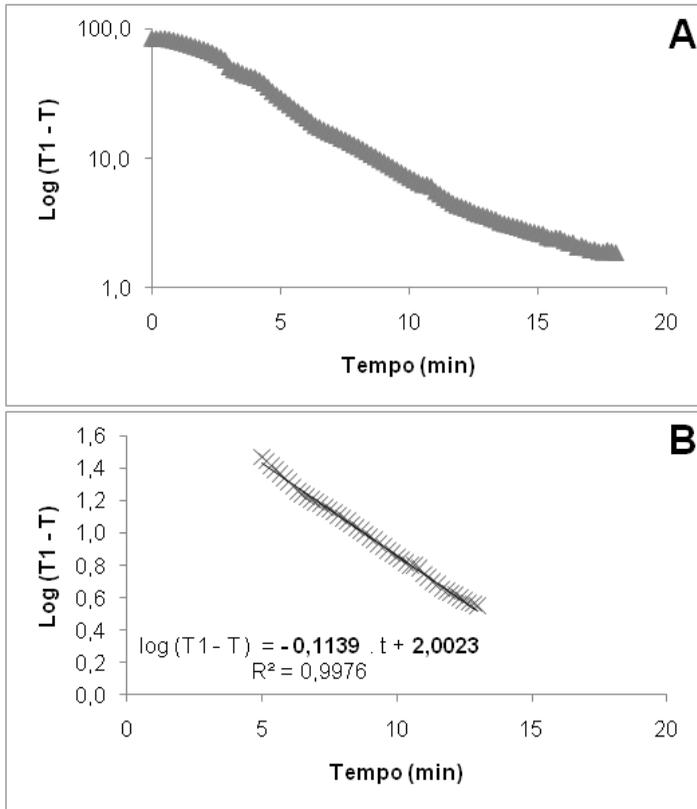


Figura 4.11. A – Exemplo da curva de aquecimento semilogarítmica; B – Ajuste de uma reta a fase retilínea da curva de aquecimento para o cálculo dos parâmetros do tratamento térmico (taxa de aquecimento e fator de atraso) pelo método de Ball.

Os ensaios 2, 3, 4 e 5 correspondem aos tratamentos térmicos a 100 °C por 30, 25, 10 e 5 minutos, respectivamente. Na Tabela 4.7, observou-se que a taxa de aquecimento (fh) para os ensaios 2 e 3 não foram significativamente diferente entre si, nem com relação aos ensaios 3, 4, e 5. A taxa de aquecimento depende do alimento, da geometria do mesmo e da embalagem que o contém, além das condições de transferência de calor. Assim, a diferença na taxa de aquecimento entre o ensaio 2 e os ensaios 4 e 5 pode ser explicada pela variabilidade da amostra. Skipnes *et al.* (2002) avaliaram a penetração de calor em *retort pouches* contendo mexilhões e observaram que fh foi significativamente influenciado pela sobrepressão aplicada. Para uma sobrepressão de 20 kPa, fh foi de 9,3±0,5 min e para 180 kPa, fh foi de 4,6±0,5 min. O fator

de atraso do aquecimento (jh) foi significativamente semelhante para todos os ensaios realizados (Tabela 4.7), não havendo influência significativa da posição do termopar nos mexilhões e da temperatura inicial da amostra, uma vez que jh depende destas variáveis. Cristianini (1998) avaliou a penetração de calor em *retort pouches* contendo atum e encontrou valores de $12,1 \pm 0,78$ min para fh e de $0,79 \pm 0,02$ para jh.

As Tabelas 4.8 e 4.9 apresentam os resultados das análises microbiológicas para os mexilhões processados nos ensaios 4 ($100^\circ\text{C}/10\text{min}$) e 5 ($100^\circ\text{C}/5\text{min}$), respectivamente. Deve-se observar que os mexilhões frescos utilizados nos ensaios 4 e 5 foram de lotes diferentes.

A legislação brasileira (BRASIL, 2001) estabelece em mexilhões *in natura* valores para contagem de estafilococos coagulase positiva menores que 10^3 UFC.g⁻¹ e ausência de *Salmonella sp.*, e para mexilhões cozidos e resfriados acrescenta às análises anteriores a contagem de coliformes termotolerantes, cujo valor deve ser menor que 50 NMP.g⁻¹.

Os resultados das análises microbiológicas dos mexilhões processados a 100°C por 25 minutos (ensaio 3) apresentaram ausência de *Salmonella sp.* em 25g de mexilhões, estafilococos coagulase positiva menor que $1,0 \times 10^1$ UFC.g⁻¹ e coliformes termotolerantes menor que 1,8 NMP.g⁻¹, estando estes valores em conformidade com a legislação brasileira. A partir destes resultados foram testados os binômios de tempo/temperatura dos ensaios 4 e 5.

Tabela 4.8. Resultados das análises microbiológicas de mexilhões frescos e processados a 100°C por 10 minutos (ensaio 4).

Micro-organismos	Mexilhões frescos (<i>in natura</i>)	Mexilhões processados ($100^\circ\text{C}/10\text{min}$)
<i>Salmonella sp</i> (25g)	Ausente	Ausente
Coliformes termotolerantes (45°C) (NMP.g ⁻¹)	< 1,8	< 1,8
Estafilococos coagulase positiva (UFC.g ⁻¹)	< $1,0 \times 10^1$	< $1,0 \times 10^1$
Contagem total de psicrótróficos (UFC.g ⁻¹)	< $1,0 \times 10^2$	< $1,0 \times 10^2$
Contagem total de psicrófilos (UFC.g ⁻¹)	$2,0 \times 10^2$	< $1,0 \times 10^2$
Contagem de mesófilos anaeróbios (UFC.g ⁻¹)	$1,7 \times 10^2$	< $1,0 \times 10^1$
<i>Vibrio parahaemolyticus</i> (NMP.g ⁻¹)	$2,8 \times 10^1$	< 3

* Os valores obtidos para os mexilhões processados representam os limites de detecção da metodologia (APHA, 2001).

Tabela 4.9. Resultados das análises microbiológicas de mexilhões frescos e processados a 100 °C por 5 minutos (ensaio 5).

Micro-organismos	Mexilhões frescos (<i>in natura</i>)	Mexilhões processados (100 °C/5min)
<i>Salmonella sp</i>	Ausente em 25 g	Ausente em 25 g
Coliformes termotolerantes (45 °C) (NMP.g ⁻¹)	< 1,8	< 1,8
Estafilococos coagulase positiva (UFC.g ⁻¹)	< 1,0 x 10 ¹	< 1,0 x 10 ¹
Contagem total de psicrotróficos (UFC.g ⁻¹)	1,3 x 10 ³	< 1,0 x 10 ²
Contagem total de psicrófilos (UFC.g ⁻¹)	1,1 x 10 ³	< 1,0 x 10 ²
Contagem de mesófilos anaeróbios (UFC.g ⁻¹)	4,0 x 10 ²	< 1,0 x 10 ¹
<i>Vibrio parahaemolyticus</i> (NMP. g ⁻¹)	1,1 x 10 ⁴	< 3

* Os valores obtidos para os mexilhões processados representam os limites de detecção da metodologia (APHA, 2001).

Nos dois lotes avaliados, os mexilhões frescos apresentaram *Vibrio parahaemolyticus*, contudo, tanto para as amostras processadas a 100°C/10min quanto a 100°C/5min foi possível reduzir a contagem deste micro-organismo para valores menores que 3 NMP.g⁻¹. Esse micro-organismo está presente em peixes e frutos do mar, de forma geral, em quantidade inferior a 10³ UFC.g⁻¹, exceto em águas mornas, onde a contagem pode aumentar para 10⁶ UFC.g⁻¹ (VIEIRA, 2003). No entanto, os víbrios são facilmente destruídos pelo calor (JAKSIC *et al.*, 2002).

Para as contagens de psicrotróficos, psicrófilos e mesófilos anaeróbios não há legislação específica. No lote dos mexilhões processados a 100°C/10min, a contagem de psicrotróficos, tanto na amostra *in natura* quanto pasteurizada, manteve-se a mesma. No lote dos mexilhões processados a 100°C/5min, a contagem de psicrotróficos na amostra *in natura*, de 1,3 x 10³ UFC.g⁻¹, reduziu para valores menores que 1,0 x 10² UFC.g⁻¹, na amostra pasteurizada. A contagem de psicrófilos diminuiu de 2 x 10² UFC.g⁻¹, na amostra crua, para valores menores que 1 x 10² UFC.g⁻¹ na amostra pasteurizada a 100°C/10min e de 1,1 x 10³ UFC.g⁻¹, na amostra crua, para valores menores que 1 x 10² UFC.g⁻¹ na amostra pasteurizada a 100°C/5min. Observa-se ainda, que as contagens de bactérias psicrotróficas e psicrófilas estavam abaixo dos níveis associados com a deterioração (10⁶ a 10⁸ UFC.g⁻¹) (FRANÇA FILHO *et al.*, 2006). A contagem de mesófilos anaeróbios foi reduzida em um ciclo logaritmo nas duas condições de temperatura/tempo avaliadas.

Os resultados das análises microbiológicas para as amostras pasteurizadas a 100°C/10min e a 100°C/5min mostraram que as duas condições de tempo/temperatura avaliadas permitiram obter um produto microbiologicamente seguro. Desta forma, amostras processadas a 100°C/5min foram armazenadas sob refrigeração para avaliação da estabilidade microbiológica dos mexilhões pasteurizados durante a estocagem.

4.4.4 Avaliação da estabilidade microbiológica dos mexilhões pasteurizados em embalagens flexíveis termoprocessáveis

Os mexilhões, acondicionados a vácuo em embalagens termoprocessáveis e pasteurizados a 100 °C por cinco minutos, foram avaliados quanto à estabilidade microbiológica e à variação do pH durante o armazenamento refrigerado (5±1°C). Os resultados das análises microbiológicas dos mexilhões *in natura*, pasteurizados e armazenados por 7, 14, 21 e 30 dias estão apresentados na Tabela 4.10.

A Tabela 4.10 apresenta resultados para os micro-organismos estabelecidos na legislação (BRASIL, 2001): *Salmonella sp*, estafilococos coagulase positiva e coliformes termotolerantes. Além destes, foram avaliadas as contagens de mesófilos anaeróbios, pois o produto foi embalado a vácuo, de psicrotróficos e psicrófilos, principais bactérias deteriorantes de produtos refrigerados e também a presença de *Vibrio parahaemolyticus*, comumente encontrado em mexilhões. Pela análise dos resultados da Tabela 4.10, observou-se que os mexilhões frescos utilizados nos ensaios apresentavam-se em conformidade com os padrões especificados pela legislação, quanto à ausência de *Salmonella sp* e à contagem de estafilococos positiva ($< 10^3$ UFC.g⁻¹), estando adequados para o consumo e/ou processamento. Após a pasteurização, os mexilhões também apresentaram-se dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira para *Salmonella sp*, contagem de estafilococos positiva e contagem de coliformes termotolerantes (50 NMP.g⁻¹). O *Vibrio parahaemolyticus* apresentou contagens inferiores a 3 NMP.g⁻¹. A legislação brasileira (BRASIL, 2001) estabelece um valor padrão para *V. parahaemolyticus* somente para pratos prontos a base de pescados, cujo valor é de 10^3 NMP.g⁻¹.

Tabela 4.10. Resultados das análises microbiológicas para mexilhões crus, pasteurizados e armazenados sob refrigeração ($5\pm 1^\circ\text{C}$).

Micro-organismos	Amostra <i>In natura</i>	Amostra Dia 0	Amostra Dia 7 ^o	Amostra Dia 14 ^o	Amostra Dia 21 ^o	Amostra Dia 30 ^o
<i>Salmonella sp</i> (25g)	Ausente	Ausente	Ausente	-	-	-
Coliformes termotolerantes (45 °C) (NMP.g ⁻¹)	4,5	< 1,8	< 1,8	-	-	-
Estafilococos coagulase positiva (UFC.g ⁻¹)	< 1,0x10 ¹	< 1,0x10 ¹	< 1,0x10 ¹	-	-	-
Contagem de mesófilos anaeróbios (UFC.g ⁻¹)	2,9x10 ²	< 1,0x10 ¹	< 1,0x10 ¹	< 1,0x10 ¹	< 1,0x10 ¹	4,5x10 ³
Contagem total de psicrótróficos (UFC.g ⁻¹)	7,0x10 ²	< 1,0x10 ²	< 1,0x10 ²	< 1,0x10 ²	< 1,0x10 ²	< 1,0x10 ²
Contagem total de psicrófilos (UFC.g ⁻¹)	< 1,0x10 ²	< 1,0x10 ²	< 1,0x10 ²	< 1,0x10 ²	< 1,0x10 ²	2,2x10 ³
<i>Vibrio parahaemolyticus</i> (NMP.g ⁻¹)	< 3	< 3	< 3	-	-	-

* A partir do 7^o dia não foram realizadas análises para *Salmonella sp*, coliformes termotolerantes, estafilococos coagulase positiva e *V. parahaemolyticus*. NMP = Número mais provável; UFC = unidade formadora de colônia. Os valores da coluna “Dia 0” representam os limites de detecção da metodologia (APHA, 2001), assim como os das demais colunas que são iguais aos mesmos.

As análises de *Salmonella sp*, coliformes termotolerantes, estafilococos coagulase positiva e *V. parahaemolyticus*, para o sétimo dia de vida útil dos mexilhões, apresentaram os mesmos resultados dos mexilhões pasteurizados, ou seja, não houve alteração da microbiota na primeira semana de armazenamento, o que era esperado, pela qualidade microbiológica da matéria-prima e pela eficiência do tratamento térmico, pois estes micro-organismos são facilmente destruídos e/ou inativados pelo calor. Assim, no decorrer do período foram realizadas somente análises dos micro-organismos deteriorantes.

A legislação brasileira não contempla padrões para bactérias mesófilas anaeróbias, psicrótróficas e psicrófilas em peixes e frutos do mar. No entanto, uma contagem de psicrófilos e psicrótróficos de 10⁶ UFC.g⁻¹ significa que o alimento ainda não está deteriorado, mas está no limite para o início desse processo. Ao ultrapassar esse limite, a degradação é muito rápida. Porém, a velocidade da degradação depende do tipo de alimento, e pode ocorrer dentro de um dia ou dois para alimentos perecíveis, atingindo níveis de 10⁸ UFC.g⁻¹ (FRANÇA FILHO *et al.*, 2006).

Observou-se (Tabela 4.10) que as contagens de mesófilos anaeróbios e de psicrotróficos dos mexilhões *in natura* foram reduzidas após o tratamento térmico, sendo que a contagem de psicrotróficos manteve-se constante nos mexilhões processados no decorrer do período avaliado. No entanto, a contagem de mesófilos anaeróbios apresentou valores constantes ($< 1 \times 10^1$ UFC.g⁻¹) do 7º ao 21º dia, sendo que no 30º dia ocorreu um aumento da contagem para $4,5 \times 10^3$ UFC.g⁻¹. A contagem de psicrófilos não variou do produto *in natura* para o pasteurizado, nem durante os 21 dias ($< 1 \times 10^1$ UFC.g⁻¹), sendo que no 30º dia apresentou uma contagem de $4,5 \times 10^3$ UFC.g⁻¹. O comportamento das contagens pode ser visualizado na Figura 4.12.

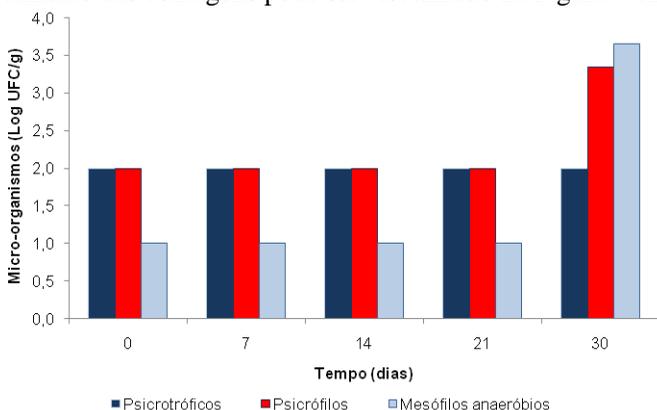


Figura 4.12. Contagem total de psicrotróficos, psicrófilos e mesófilos anaeróbios para mexilhões pasteurizados e armazenados sob refrigeração (5 °C) durante 30 dias.

Cordeiro (2005) estudou o processo de congelamento de mexilhões cozidos e encontrou para mexilhões cozidos (em ebulição por 10 minutos) contagens de psicrotróficos de $3,1 \times 10^1$ UFC.g⁻¹ e para mexilhões congelados de $3,8 \times 10^1$ UFC.g⁻¹.

Lima (2010) avaliou a vida útil de mexilhões cozidos desconchados, embalados em atmosfera modificada e armazenados sob refrigeração (3 °C) e observou que as amostras em estudo apresentaram elevada contagem, tanto de micro-organismos psicrófilos ($3,9 \times 10^7$ UFC.g⁻¹) como de psicrotróficos ($5,3 \times 10^7$ UFC.g⁻¹), no sétimo dia de armazenamento. Cabe ressaltar que ainda no dia inicial da avaliação as contagens destas bactérias também eram altas (da ordem de 10^4), provavelmente por recontaminações provocadas durante o processamento dos mexilhões, pois os mesmos foram cozidos e resfriados por imersão em água gelada.

A Figura 4.13 apresenta os valores do pH dos mexilhões frescos, pasteurizados e armazenados sob refrigeração. Em todos os estágios os valores foram significativamente diferentes. Observou-se um pequeno aumento do pH dos mexilhões pasteurizados (6,96) quando comparado ao pH dos mexilhões crus (6,76), provavelmente devido as modificações físico-químicas ocorridas pela ação do calor durante a pasteurização. Durante o armazenamento o pH dos mexilhões processados diminuiu, do dia “zero” (pasteurizado) até o décimo quarto dia, e a partir do vigésimo primeiro dia apresentou um aumento, atingindo um pH de 7,78 no final do período de armazenamento.

A presença de níveis significantes de carboidratos em moluscos bivalves, em princípio, conduz para atividades de sacarificação e a acumulação de ácidos orgânicos, resultando numa diminuição no pH durante a deterioração (ICMSF, 1998 apud SÁLAN, 2005). No entanto, de acordo com Miller e Brown (1984) *apud* Soccol (2002), o pH não pode ser usado como índice seguro do estado de frescor, ou do início de deterioração de pescados. Porém, a mudança de pH reflete a atividade bacteriana.

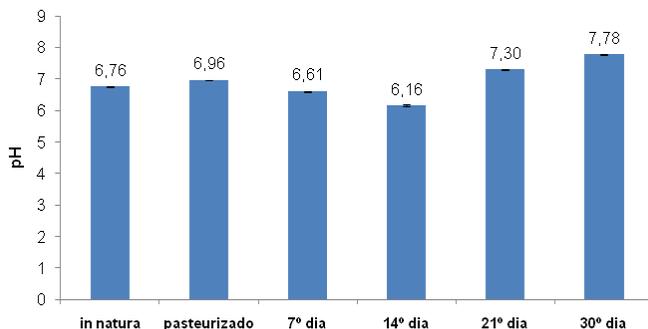


Figura 4.13. Valores de pH de mexilhões *in natura* e de mexilhões pasteurizados e armazenados sob refrigeração ($5\pm 1^{\circ}\text{C}$) durante 30 dias.

Lima (2010) observou um decréscimo do pH para mexilhões cozidos desconchados e armazenados sob refrigeração (3°C) durante 25 dias. Bremer e Statham (1983) *apud* Soccol (2002), relatam que em experimentos com moluscos (*Pecten Alba*) embalados a vácuo, com adição de sorbato de potássio, o pH apresentou-se mais elevado no início do experimento, depois decresceu, aumentou novamente e assim, sucessivamente, até o término do ensaio.

Quanto às embalagens utilizadas no acondicionamento dos mexilhões, 10% das unidades apresentou perda de vácuo, o que foi

observado visualmente a partir do 14º dia de armazenamento. No entanto, análises complementares são necessárias para verificar se a perda de vácuo ocorreu devido à perfuração (microfuros) da embalagem durante o manuseio da mesma ou uma possível contaminação por micro-organismos que produzem gás pós-processamento.

Outra observação constatada foi a alteração na cor do líquido presente na embalagem, liberado pelos mexilhões durante o cozimento (Figura 14). No início o líquido apresentava-se límpido e no final do armazenamento apresentou um aumento na turbidez. Isto pode ter ocorrido pelo crescimento de bactérias psicrotróficas, o que não foi verificado pelas análises microbiológicas, ou pelo crescimento de outras bactérias não avaliadas, como ácido-lácticas. As bactérias ácido-lácticas são dominantes em alimentos embalados a vácuo devido à sua habilidade de crescer rapidamente em condições anaeróbias e a baixas temperaturas (CAGLAK, 2008).



Figura 4.14. Visualização do líquido presente na embalagem após a pasteurização e após 30 dias de armazenamento refrigerado ($5\pm 1^\circ\text{C}$).

O uso de embalagens termoprocessáveis para pasteurização de mexilhões foi testado na empresa Cavallo Marinho num período anterior a este estudo, no entanto, as amostras apresentaram um tempo de armazenamento de apenas 10 dias. No presente trabalho, a partir dos resultados das análises microbiológicas, foi possível obter mexilhões pasteurizados em embalagens flexíveis termoprocessáveis microbiologicamente estáveis por 21 dias. No entanto, é necessária uma avaliação das características físico-químicas e sensoriais, bem como nutricionais, durante o armazenamento, para que se defina um período apropriado para comercialização.

4.5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos para o tratamento térmico de mexilhões em embalagens flexíveis termoprocessáveis, as seguintes observações podem ser feitas:

- Os dados obtidos para a distribuição de calor na autoclave mostram que as adaptações efetuadas na mesma, principalmente o arranjo proposto para o suporte de confinamento das embalagens, teve pouca influência sob a variação da temperatura no interior da autoclave, proporcionando uma boa distribuição de temperaturas, garantindo um tratamento térmico homogêneo;

- A embalagem utilizada, bem como as condições de termossoldagem e vácuo, possibilitaram um bom desempenho da mesma durante o processamento térmico;

- Os valores calculados para a letalidade do processo indicaram, para micro-organismos patogênicos e deteriorantes, que todas as condições de tratamento térmico avaliadas foram adequadas;

- A partir dos resultados das análises microbiológicas das amostras processadas a 100°C por 25 minutos, foram testadas duas novas condições de processo: 100°C/10 min e 100°C/5min. Os resultados das análises microbiológicas dos mexilhões pasteurizados não apresentaram diferenças entre estes dois tratamentos;

- Os resultados da avaliação microbiológica dos mexilhões pasteurizados a 100°C/5min mostraram a possibilidade de obter-se um produto microbiologicamente estável por 21 dias. No entanto, análises físico-químicas e sensoriais são ainda necessárias para confirmação desse período.

REFERÊNCIAS

- AL-BAALI, A. G.; FARID, M. M. **Sterilization of food in retort pouches**. Food Engineering Series. New York: Springer. 2006. 205 p.
- APHA. American Public Health Association. **Compendium of Methods of the Microbiological Examination of Foods**. 4^o ed. Washington, DC, 2001.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 16 ed. Washington, 1995.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 17 ed. Washington, 2000.
- BALL, C.O; OLSON, F.C.W. **Sterilization in food technology. Theory, Practice and Calculation**. New York: Mc Graw Hill Book Co.1957.
- BEVERLY, R. G.; STRASSER, J. and WRIGHT, B. **Critical factors in filling and sterilizing of institutional pouches**. Food Tech., sep., p. 44 – 50, 1980.
- BINDU, J.; RAVISHANKAR, C. N.; SRINIVASA GOPAL, T. K., MALLICK, A. K. Investigation of shelf life and heat penetration attributes of ready-to-eat “fish peera” from anchovy (*Stolephorous commersoni*) in retort pouches. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 34, p. 207–222, 2010.
- BINDU, J.; RAVISHANKAR, C. N.; SRINIVASA GOPAL, T. K. Shelf life evaluation of a ready-to-eat black clam (*Villorita cyprinoides*) product in indigenous retort pouches. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 995–1000, 2007.
- BINDU, J.; SRINIVASA GOPAL, T.K.; UNNIKRISHNAN NAIR, T.S. Ready-to-eat Mussel Meat Processed in Retort Pouches for the Retail and Export Market. **Packaging Technology Science**, v. 17, p. 113–117, 2004.

BRASIL. Resolução RDC, nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Publicada no **Diário Oficial da União**, Brasília, 10 de janeiro de 2001. Disponível em <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 21/08/2008.

BREMNER, P. J., FLETCHER, G. C., OSBORNE C. *Clostridium botulinum* in seafood. New Zealand Institute for Crop & Food Research Limited. 2003. Disponível: www.crop.cri.nz/home/research/marine/pathogens/clostridium.pdf Acessado em: 12/10/2010.

BREMNER, H. A.; STATHAM, J. A. Effect of potassium sorbate on refrigerated storage of vacuum packed scallops. *Journal of Food Science*, v. 48, n. 4, p. 1042-1047, 1983.

BYUN, Y.; BAE, HO J.; COOKSEY, K.; WHITESIDE, S. Comparison of the quality and storage stability of salmon packaged in various *retort pouches*. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, p. 551–555, 2010a.

BYUN, Y.; IN HONG, S.; MANGALASSARY, S.; BAE, HO J.; COOKSEY, K.; PARK, H. J.; WHITESIDE, S. The performance of organic and inorganic coated retort pouch materials on the shelf life of ready-to-eat rice products. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, p. 862–866, 2010b.

CAGLAK E., CAKLI, S., KILINC, B. Microbiological, chemical and sensory assessment of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) stored under modified atmosphere packaging. **Europe Food Research Technology**, v. 226, p. 1293 - 1299, 2008.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2008. 705p.

CAMPBELL, S. and RAMASWAMY, H. S. Heating rate, lethality and cold spot location in air-entrapped retort pouches during over-pressure processing. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 2, p. 485-489, 1992.

CARVALHO FILHO, C. D. **Utilização do bioteste com esporos de *Bacillus subtilis* na avaliação da integridade asséptica de embalagens flexíveis esterilizáveis**. 1996. 131 p. Dissertação

(Mestrado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, 1996.

CHAI, T.; PACE, J.; SCHLIMME, D.V.; LINAG, K.T. Effect of heat processing on quality of pasteurized oysters. **Journal of Food Science**, v. 56, p. 1294. 1991.

CORDEIRO, D. **Qualidade do mexilhão *Perna perna* submetido ao processo combinado de cocção, congelamento e armazenamento**. 2005. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CRISTIANINI, M. **Estudo da distribuição de temperaturas durante o processo de esterilização de atum (*Katsuwonus pelamis*) em bolsa flexível**. 1998. 149 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, 1998.

DAL BELLO, M. D. **Viabilidade técnico econômica da substituição da lata por “retort pouch”**. 2007. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2007.

DAVID, J. R. D., GRAVES, R. H., CARLSON, V. R. **Aseptic processing and packaging of food: a Food Industry perspective**. USA: CRC Press. 1996. 257 p.

DHANAPAL, K.; REDDY, G.V.S.; NAYAK, B.B.; BASU, S.; SHASHIDHAR, K.; VENKATESHWARLU, G.; CHOUKSEY, M.K. Quality of ready to serve tilapia fish curry with PUFA in retortable pouches. **Journal of Food Science**, v. 75, Nr. 7, 2010.

FELLOWS, P. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2^a ed. Porto Alegre: ARTMED. 2006. 602 p.

FENNEMA, O. R. **Food chemistry**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker. 1996.

FORSYTHE, S. J. **Microbiologia da Segurança Alimentar**. Porto

Alegre: Artmed, 2002. 424 p.

FRANÇA FILHO, A. T. F.; MESQUITA, A. J.; OLIVEIRA, J. P.; BUENO, C. P.; LOPES, J. H.; COUTO, M. V.; BORGES, N. M. F. Qualidade bacteriológica de meias-carcaças bovinas oriundas de matadouros-frigoríficos do estado de Goiás habilitados para exportação. **Ciência Animal Brasileira**, v. 7, n. 3, p. 315-325, jul./set. 2006.

FREIRE, C. C. **Estudo da esterilização numa autoclave vertical modificada para o termoprocessamento de bolsas flexíveis**. 1992. 315 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, 1992.

FURLAN, E. F. **Vida útil dos mexilhões *Perna perna* cultivados no litoral norte de São Paulo: aferição dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos**. 2004. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

GOULAS, A.E.; CHOULIARA, I.; NESSI, E.; KONTOMINAS, M.G., SAVVAIDIS, I.N. Microbiological, biochemical and sensory assessment of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) stored under modified atmosphere packaging. **Journal of Applied Microbiology**, v. 98, p. 752–760, 2005.

HOLDSWORTH, D; SIMPSON, R. **Thermal Processing of Packaged Foods**. Second Edition. Food Engineering Series. New York: Springer. 2007. 407 p.

ICMSF – International commission on microbiological specifications for foods. Fish and fish products. In: **Microorganisms in foods 6. Microbial ecology of food commodities**. London: Blackie Academic e Professional, 1998, p. 154-158.

IFTPS - Institute for Thermal Processing Specialists. **Protocol for carrying out heat penetration studies**. Disponível em: www.iftps.org
Acesso em: 17/02/2010.

JAKSIC, S.; UHITIL, S.; PETRAK, T.; BAZULIC, D.; KAROLYI, L. G. **Occurrence of *Vibrio* spp. in sea fish, shrimps and bivalve molluscs harvested from Adriatic sea**. Food Control, v. 13, p. 491 –

493, 2002.

JAY, J. M. **Microbiologia de Alimentos**. 6ª Edição. Porto Alegre: Artmed, 2005.

JAY, J.M. **Modern Food Microbiology**, chapter 6, Seafoods (5th edn). New York: Chapman and Hall. 1996.

JUNEJA, V. K.; EBLEN, B. S.; MARMER, B. S.; WILLIAMS, A. C.; PALUMBO, S. A.; MILLER, A. J. Thermal resistance of nonproteolytic type B and type E *Clostridium botulinum* spores in phosphate buffer and turkey slurry. **Journal of Food Protection**, v. 58, n. 7, p. 758 – 763, 1995.

LAMPI, R. A. **Flexible packing for thermoprocessed foods**. Advanced Food Research, 305, 1977.

LIMA, M. **Avaliação das condições de processamento de mexilhões *Perna perna* pré-cozidos e resfriados**. 2010. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

LOPEZ, A. **A complete course in canning**. Chapter 14. 11th ed. Canning Trade Inc., Maryland, Baltimore, 1981.

MÉNDEZ, I. M., ABUÍN, J. M. G. **Thermal processing of fishery products**. Cap. 8 in Da-Wen Sun - Thermal Food Processing: New Technologies and Quality Issues. Florida: CRC Press, 2006. 640 p.

MILLER, S. A.; BROWN, W. D. Effectiveness of chlortetracycline in combination with potassium sorbate or tetrasodium ethylenediaminetetraacetate for preservation of vacuum packed rockfish fillets. *Journal of Food Science*, v. 40, n. 1, p. 188-191, 1984.

MOHAN, C. O., RAVISHANKAR, C. N.; GOPAL, T. K. S.; BINDU, J. Thermal processing of prawn ‘kuruma’ in retortable pouches and aluminum cans. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, p. 200–207, 2008.

OLIVEIRA, L. M.; ALVES, R. M. V. Influência do perfil da mandíbula de fechamento no desempenho da termossoldagem de embalagens

flexíveis. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL. Campinas, n. 2, v. 22, p. 194-208, 1992.

ORTIZ, S. A. **Desempenho de embalagens flexíveis para alimentos termoprocessados quando submetidas à simulação de manuseio e transporte.** Tese de mestrado, Universidade de São Paulo, 1986.

PARKER, R. O. **Introduction to food science.** USA: Delmar, 2001. 636 p.

POTTER, N.N.; HOTCHIKISS, J.H. **Food Science.** 5.ed. New York: Chapman & Hall, 1995. 608 p.

RAMASWAMY, H. S.; CAMPBELLS, S.; PASSEY, C. **Temperature distribution in a standard I-basket water-cascade retort.** Can. Inst. Sci. Technol. J., v. 24, p. 245-257, 1991.

RODRIGUES, A. D.; SCHMIDT, F. L.; VITALI, A. A.; TEIXEIRA NETO, R. O; TEIXEIRA, A. A.; GERMER, S. P. M.; SADAHIRA, M. S. Comparação entre técnicas numéricas para a resolução do problema de transferência de calor em alimentos enlatados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 2, 1998.

ROJA JÚNIOR, N. P. **Avaliação de embalagens flexíveis esterilizáveis e alimentos de pronto consumo para equipagens de aeronaves e para uso terrestre.** 2008. 117 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2008.

SALÁN, E. O. **Tratamento térmico de mexilhões *P. perna* como forma de assegurar a qualidade – avaliação do crescimento de *B. cereus* e *S. aureus*.** 2005. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; JESUS JR, I. A. Embalagens plásticas esterilizáveis – reinvenção e tendência. **Boletim de tecnologia e desenvolvimento de embalagens**, v. 17, n. 3, 2005.

SMITH, P. G. **Introduction to food process engineering.** USA: Kluwer Academic/Plenum Publishers. 2003. 466 p.

SKIPNES, D.; ØINES, S.; ROSNES, J. T.; SKÅRA, T. Technology Heat Transfer in Vacuum Packed Mussels (*Mytilus edulis*) During Thermal Processing. **Journal of Aquatic Food Product**, v. 11(3), p. 5-19, 2002.

SOCCOL, M. C. H. **Otimização da vida útil da tilápia cultivada (*Oreochromis niloticus*), minimamente processada e armazenada sob refrigeração**. 2002. 141 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

STUMBO, C.R. **Thermobacteriology in Food Processing**. 2^a ed. USA: Academic Press. 1973. 329 p.

TSCHEUSCHNER, H. D. **Fundamentos de tecnologia de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2001. 746 p.

TUCKER, G. S.; FEATHERSTONE, S. **Essentials of thermal processing**. 1^a ed. USA: Blackwel. 2010. 264 p.

VELIZ, C. J. V., **Estudio de penetración de calor en una conserva de camarón envasada en empaque flexible**. 2008, 107 p. Tesis de Grado (Ingeniero de Alimentos) - Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, 2008.

VIEIRA, H. S. F. **Microbiologia, higiene e qualidade do pescado: teoria e prática**. Ed. Varela, SP, 2003. 380 p.

CONCLUSÕES GERAIS

As alternativas de processamento de mexilhões propostas no presente trabalho contribuem com o melhoramento e o desenvolvimento de tecnologias para a industrialização destes moluscos.

O processo de cozimento-resfriamento a vácuo dos mexilhões num mesmo equipamento evita a transferência do produto entre uma unidade e outra, reduzindo o tempo de processo, a manipulação excessiva e as recontaminações.

O tratamento osmótico de mexilhões, cozidos e resfriados, com soluções salinas proporcionou a aplicação de uma nova operação no processamento destes moluscos, possibilitando o desenvolvimento de produtos diferenciados, como marinados.

A pasteurização dos mexilhões em embalagens tipo *retort pouches* protege o produto das contaminações cruzadas durante o processamento, resultando em um produto de vida útil estendida, favorecendo a comercialização e possibilitando atingir novos mercados.

Os resultados da presente pesquisa são de relevante importância, pois são poucos os trabalhos no Brasil sobre o processamento de mexilhões. Além disso, os processos avaliados podem ser aplicados em ostras, vôngoles (berbigão), vieiras, lulas, polvos e outros frutos do mar.

Nesse contexto, o presente trabalho visa contribuir para a geração de conhecimento e oferta de tecnologias para a conservação e o processamento de moluscos marinhos.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O processamento de mexilhões, e de moluscos em geral, é uma atividade incipiente no Brasil, bem como as pesquisas nessa área. Desta forma, os resultados obtidos no presente trabalho despertaram o interesse em alguns pontos e algumas sugestões para estudos posteriores são:

- Um estudo para geração de vácuo combinando o uso de bombas de vácuo e de ejetores de vapor, visando reduzir custos e viabilizar o emprego da técnica de resfriamento a vácuo por pequenas empresas;
- No processo de cozimento imerso-refriamento a vácuo imerso, avaliar diferentes relações entre a quantidade de água e de mexilhões, para minimizar o tempo de resfriamento;
- Avaliar sensorialmente amostras resfriadas a vácuo e resfriadas por imersão em água gelada;
- No tratamento osmótico, testar concentrações de sal na solução salina superiores a 20%, com objetivo de identificar concentrações adequadas para a desidratação dos mexilhões;
- Avaliar o uso de soluções salinas com adição de ácidos, para prevenir o crescimento de micro-organismos e desenvolver propriedades sensoriais características;
- Para o tratamento térmico de mexilhões em *retort pouches* complementar o estudo realizado neste trabalho com avaliação físico-química e sensorial das amostras durante a estocagem refrigerada;
- Avaliar diferentes embalagens flexíveis termoprocessáveis.

APÊNDICE A - CÁLCULO DA LETALIDADE DO PROCESSO (F_{PROCESSO}) E DA LETALIDADE REQUERIDA PARA O PROCESSO ($F_{\text{REQUERIDO}}$).

Considerando a natureza logarítmica da destruição dos micro-organismos pela ação do calor, o valor de $F_{\text{requerido}}$ é obtido pela expressão (ORDÓÑEZ-PEREDA, 2005; DAVID *et al.*, 1996; STUMBO, 1973):

$$F_{\text{requerido}} = D_T (\log N_0 - \log N_t) \quad (\text{A.1})$$

$$\text{ou } F_{\text{requerido}} = D_T \cdot \gamma \quad (\text{A.2})$$

onde:

F = tempo requerido para atingir o grau de redução da população microbiana até o nível desejado (minutos)

D_T = tempo de redução decimal do micro-organismo alvo do processo, na temperatura de referência (minutos)

N_0 = número inicial de micro-organismos (UFC/g)

N_t = número de micro-organismos em um tempo t (UFC/g)

γ = número de reduções decimais

Para o cálculo de F_{processo} pode se utilizar o método geral. A partir dos dados de temperatura (no ponto frio), a cada intervalo de tempo, é possível calcular a taxa letal pela seguinte equação (SMITH, 2003):

$$L = 10^{-(T_R - T)/z} \quad (\text{A.3})$$

onde:

L = taxa letal

T_R = temperatura de referência ($^{\circ}\text{C}$)

T = temperatura de processo ($^{\circ}\text{C}$)

z = incremento de temperatura necessário para que o tempo de redução decimal diminua a um décimo ($^{\circ}\text{C}$), para o micro-organismo alvo.

Calculando a taxa letal em função da temperatura e plotando os valores contra o tempo, sendo as letalidades aditivas, a área abaixo da curva é a medida da destruição dos micro-organismos em todo processo. Assim, por definição (SMITH, 2003):

$$F_{processo} = \int_{t=0}^{t=t} L dt \quad (A.4)$$

Para obtenção do valor D a determinada temperatura, a partir dos valores de D e z do micro-organismo alvo numa temperatura de referência, utiliza-se a Equação A.5, originada da inclinação da curva de resistência térmica (ORDÓÑEZ-PEREDA, 2005; STUMBO, 1973):

$$\log \frac{D_2}{D_1} = \frac{T_1 - T_2}{z} \quad (A.5)$$

onde:

D_1 = tempo de redução decimal do micro-organismo alvo do processo, na temperatura T_1 (minutos)

D_2 = tempo de redução decimal do micro-organismo alvo do processo, na temperatura T_2 (minutos)

z = incremento de temperatura necessário para que o tempo de redução decimal diminua a um décimo ($^{\circ}\text{C}$)

REFERÊNCIAS

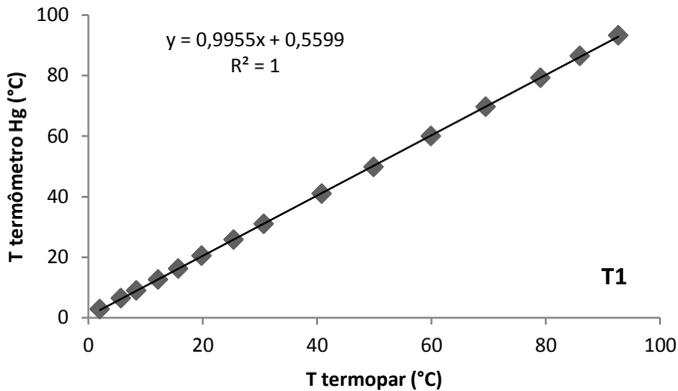
DAVID, J. R. D., GRAVES, R. H., CARLSON, V. R. **Asseptic processing and packaging of food: a Food Industry perspective**. USA: CRC Press. 1996. 257 p.

ORDÓÑEZ-PEREDA, J. A. **Tecnologia de alimentos – Componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: ARTMED. 2005. 294 p.

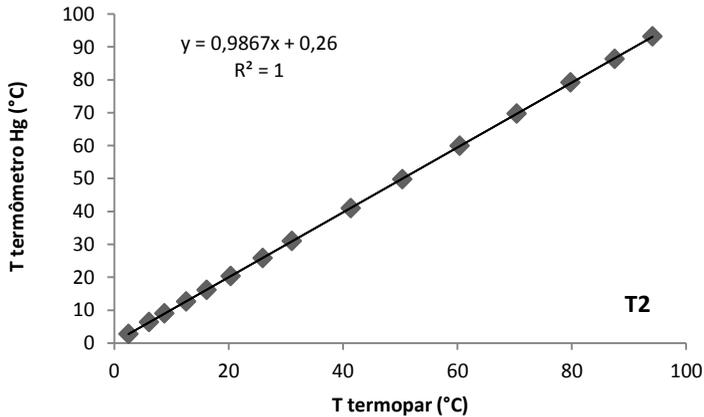
SMITH, P. G. **Introduction to food process engineering**. USA: Kluwer Academic/Plenum Publishers. 2003. 466 p.

STUMBO, C.R. **Thermobacteriology in Food Processing**. 2^a ed. USA: Academic Press. 1973. 329 p.

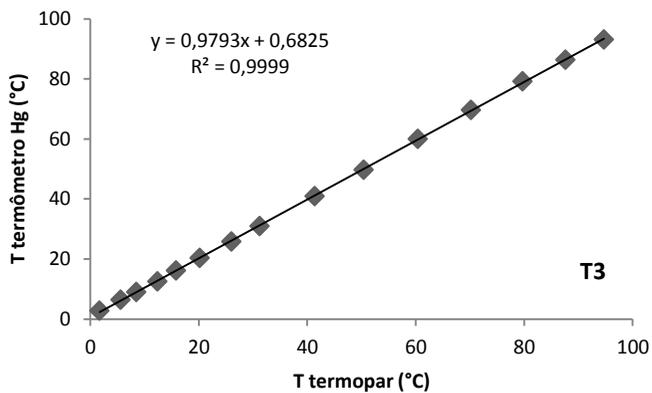
APÊNDICE B - CURVAS DE CALIBRAÇÃO PARA OS TERMOPARES UTILIZADOS NO PROCESSO INTEGRADO DE COZIMENTO-RESFRIAMENTO A VÁCUO DE MEXILHÕES.



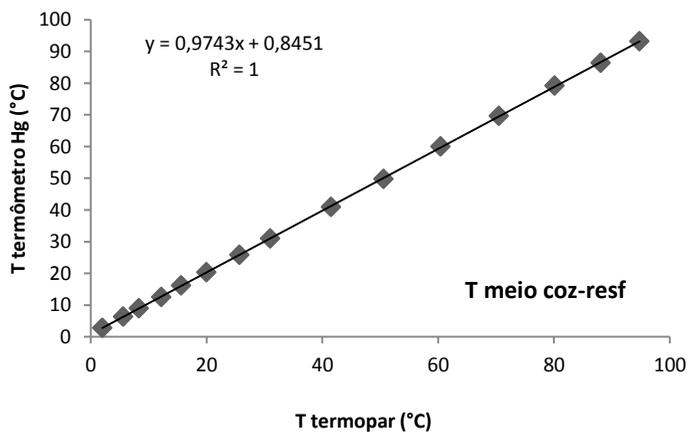
Curva de calibração para o termopar 1 (T1).



Curva de calibração para o termopar 2 (T2).



Curva de calibração para o termopar 3 (T3).



APÊNDICE C - DETERMINAÇÃO DE CLORETOS (MÉTODO DE MOHR)

Princípio

Os cloretos são precipitados sob a forma de cloreto de prata, em pH levemente alcalino em presença do cromato de potássio como indicador. O final da titulação é visualizado pela formação de precipitado vermelho tijolo de cromato de prata.

Procedimento

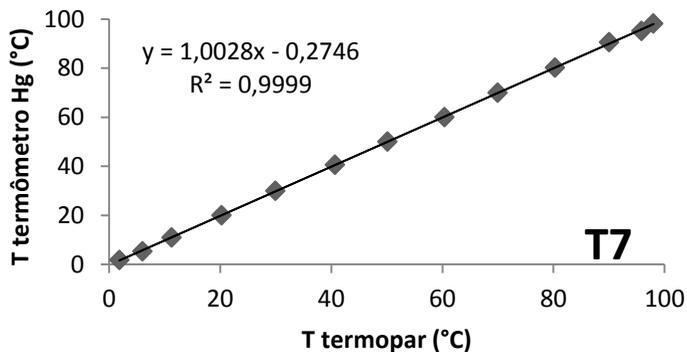
Após a determinação do conteúdo de umidade, as amostras secas foram carbonizadas em bico de Bunsen e posteriormente incineradas em forno mufla a 550°C até obtenção de cinzas claras. Adicionou-se de 2 a 5 gotas de solução de ácido nítrico (1+9) para facilitar a dissolução das cinzas e 10 mL de água destilada quente. Em seguida filtrou-se com papel filtro qualitativo (gramatura 80g/cm²) lavando bem o cadinho e o papel de filtro com água destilada quente. O pH do filtrado foi ajustado entre 6,5 e 10,5 com solução de hidróxido de sódio 0,1 N. A titulação foi realizada com solução de nitrato de prata 0,1 N até coloração vermelho-tijolo, na presença de 1mL de solução de cromato de potássio a 5% como indicador.

Cálculo

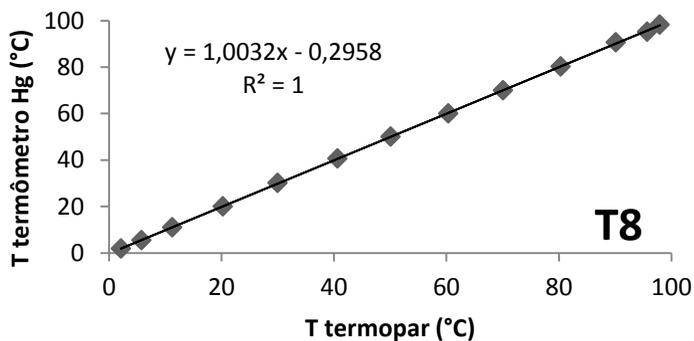
$$\% \text{ cloretos em NaCl } (p/p) = \frac{V \cdot f \cdot N \cdot 0,0585}{p} \cdot 100 \quad (\text{Eq. C. 1})$$

onde V é o volume de solução de nitrato de prata 0,1 N gastos na titulação (mL), f é o fator da solução de nitrato de prata 0,1 N, p é a massa da amostra (g), N é a normalidade da solução de nitrato de prata (0,1 N) e 0,0585 é o miliequivalente grama do cloreto de sódio na normalidade trabalhada.

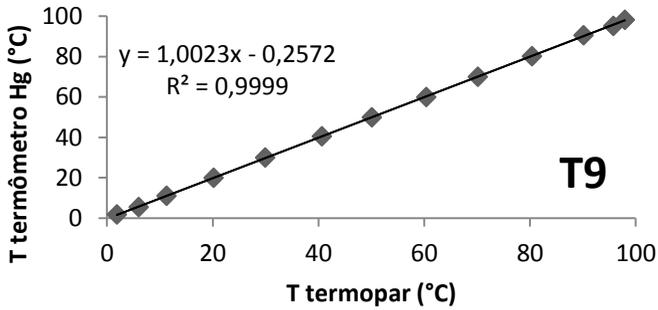
APÊNDICE D - CURVAS DE CALIBRAÇÃO PARA OS TERMOPARES UTILIZADOS NO TRATAMENTO TÉRMICO DE MEXILHÕES EM EMBALAGENS FLEXÍVEIS TERMOPROCESSÁVEIS



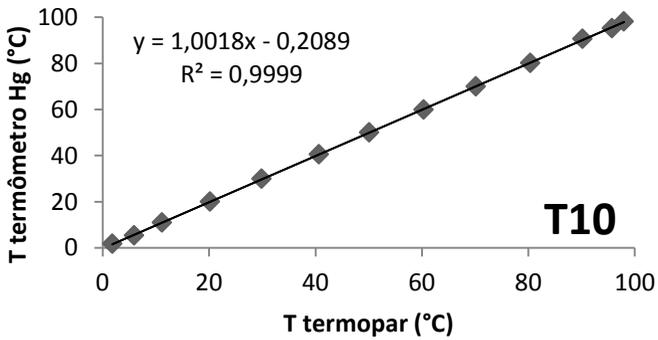
Curva de calibração para o termopar 7 (T7).



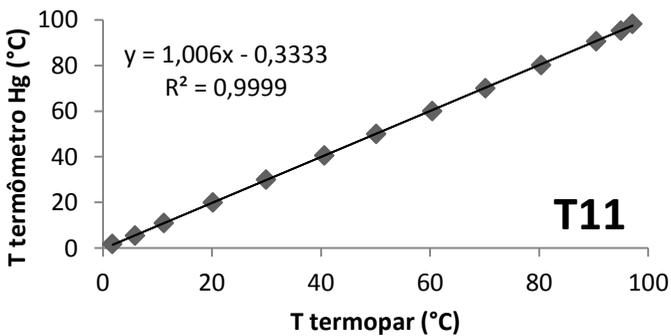
Curva de calibração para o termopar 8 (T8).



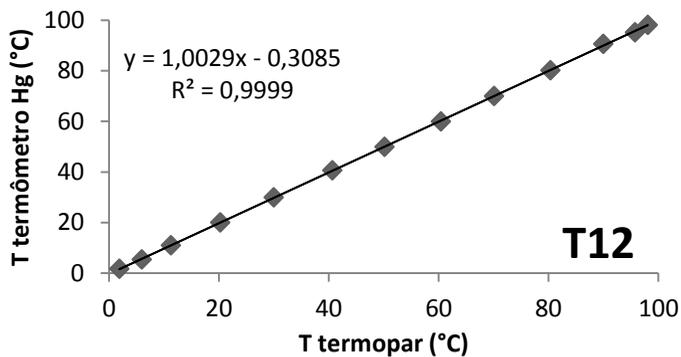
Curva de calibração para o termopar 9 (T9).



Curva de calibração para o termopar 10 (T10).



Curva de calibração para o termopar 11 (T11).



Curva de calibração para o termopar 12 (T12).