

GIANDRA VOLPATO

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE PEITO DE  
FRANGO COZIDO**

FLORIANÓPOLIS – SC

2005

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

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE PEITO DE  
FRANGO COZIDO**

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia de Alimentos como requisito parcial  
para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de  
Alimentos.

**Giandra Volpato**

Engenheira de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Cunha Petrus

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sandra Regina Salvador Ferreira

Florianópolis, fevereiro de 2005

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores, José Carlos Cunha Petrus e Sandra Regina Salvador Ferreira, meu sincero agradecimento pela orientação precisa, incentivo, críticas e correções feitas no decorrer deste trabalho, e, sobretudo pelos ensinamentos que irei levar sempre comigo.

Aos amigos do LATESC, pela ajuda, amizade e por tornar os momentos de trabalho sempre tão agradáveis.

À equipe envolvida neste trabalho, Eliane, Elisa, Fábio e Douglas, pela ajuda e colaboração.

Aos colegas de mestrado, pela amizade e ajuda em vários momentos.

Agradeço a professora Gláucia Maria Falcão de Aragão e ao professor Cesar Damian, por terem aceitado discutir este trabalho, e pelas sugestões e correções feitas.

Aos meus pais e irmãos pelo apoio e amor recebidos, mesmo à distância, estiveram sempre presentes nos momentos mais difíceis.

À família do Rafael, pelo carinho, amizade e incentivo.

À Eliane, pela amizade, dedicação, companheirismo e grande ajuda durante a realização deste trabalho.

À Carol, pela amizade dedicada durante tantos anos e ajuda em tantos momentos de dúvida.

Ao meu amor Rafael, pelo incentivo, amor, amizade, carinho e grande auxílio na realização deste trabalho, meu enorme reconhecimento e retribuição.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>I</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>III</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>	<b>V</b>
<b>RESUMO</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>VII</b>
<b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
<b>2.1 CARNE DE FRANGO</b>	<b>4</b>
<b>2.2 ESTRUTURA E PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA CARNE</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E VALOR NUTRITIVO DA CARNE</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1.1 Lipídios</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1.2 Sais minerais</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1.3 Água</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1.4 Proteínas da carne</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2 ESTRUTURA DO TECIDO MUSCULAR</b>	<b>11</b>
<b>2.3 PROCESSAMENTO DA CARNE DE FRANGO</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1 MATURAÇÃO OU EQUALIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2 PROCESSO DE CURA</b>	<b>14</b>
<b>2.3.2.1 Utilização de aditivos alimentares</b>	<b>14</b>
<b>2.3.2.1.1 Utilização de fosfatos</b>	<b>15</b>
<b>2.3.2.1.2 Utilização de cloreto de sódio</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2.1.3 Utilização de açúcares</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2.2 Métodos de incorporação dos ingredientes de cura</b>	<b>21</b>
<b>2.3.2.2.1 Cura a seco</b>	<b>21</b>

2.3.2.2.2 Cura úmida por imersão	21
2.3.2.2.3 Cura por injeção	22
2.3.2.2.4 Cura por tangleamento e imersão	23
2.3.2.3 Cinética de cura	24
2.3.3 PROCESSO DE COZIMENTO	28
2.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	29
2.5 ANÁLISE SENSORIAL	30
2.5.1 TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA	31
<b><u>CAPÍTULO III - MATERIAL E MÉTODOS</u></b>	<b>33</b>
3.1 MATÉRIA-PRIMA	34
3.2 METODOLOGIA OPERACIONAL	35
3.2.1 EQUALIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	35
3.2.2 PROCESSO DE TANGLEAMENTO	36
3.2.3 PROCESSO DE CURA	36
3.2.4 PROCESSO DE COZIMENTO	36
3.3 PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM	37
3.4 TESTES PRELIMINARES	37
3.5 CINÉTICA DE CURA	39
3.5.1 PROCEDIMENTO MATEMÁTICO E ANÁLISE ESTATÍSTICA	41
3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	43
3.7 PROCESSO DE ESTIRAMENTO	44
3.8 INFLUÊNCIA DA ALTURA DE EMPILHAMENTO NA PERDA DE SALMOURA DURANTE A CURA	45
3.9 RENDIMENTO EM FUNÇÃO DA FORMA DE POSICIONAMENTO DO PEITO DE FRANGO	46
3.10 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	46
3.10.1 DETERMINAÇÃO DE PH	46
3.10.2 DETERMINAÇÃO DE UMIDADE	46
3.10.3 DETERMINAÇÃO DE PROTEÍNAS	47
3.10.4 DETERMINAÇÃO DE LIPÍDIOS	47
3.10.5 DETERMINAÇÃO DE NA <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	47
3.11 GANHO DE PESO NO PROCESSO DE CURA	48

3.12 PERDA DE PESO NO COZIMENTO	48
3.13 DETERMINAÇÃO DOS RENDIMENTOS	49
3.14 ANÁLISE SENSORIAL	49
3.14.1 TESTE DE COMPARAÇÃO MÚLTIPLA	49
<b><u>CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u></b>	<b>51</b>
4.1 ESTUDO DA CINÉTICA DE CURA PARA PEITO DE FRANGO ( <i>PECTORALIS MAJOR</i> ) UTILIZANDO SOLUÇÕES QUATERNÁRIAS	51
4.2 EFEITO DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO NO RENDIMENTO DE PEITO DE FRANGO COZIDO	62
4.2.1 TESTES PRELIMINARES	62
4.2.2 ARTIGO: EFEITO DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO NO RENDIMENTO DE PEITO DE FRANGO COZIDO.	65
4.2.3 EXPERIMENTOS EM ESCALA INDUSTRIAL	74
4.3 AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ESTIRAMENTO E DA POSIÇÃO DAS PEÇAS NA PERDA DE SALMOURA E PERDAS NO COZIMENTO	75
4.4 INFLUÊNCIA DA ALTURA DE EMPILHAMENTO NA PERDA DE SALMOURA DURANTE A CURA	79
4.5 RENDIMENTO EM FUNÇÃO DA FORMA DE POSICIONAMENTO DO PEITO DE FRANGO	81
<b><u>CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E SUGESTÕES</u></b>	<b>83</b>
<b><u>CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u></b>	<b>86</b>
<b><u>CAPÍTULO VII - ANEXOS</u></b>	<b>93</b>
ANEXO I – SUPERFÍCIES DE RESPOSTA	93
ANEXO II – RESULTADOS CINÉTICA DE CURA – TESTES PRELIMINARES	103
ANEXO III – RESULTADOS CINÉTICA DE CURA – EFEITO PARA DETERMINAÇÃO DO MODELO	105

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação diagramática da estrutura muscular macroscópica e microscópica - fonte: CHRYSTALL, obtida em ABERLE <i>et al.</i> , 2001). .....	12
Figura 2 - Tumbler experimental - fonte: JUDGE <i>et al.</i> , 1989.....	23
Figura 3 - Desenho esquemático dos tubos utilizados nos ensaios. ....	45
Figura 4 - Ficha de avaliação utilizada no teste de comparação múltipla. ....	50
Figura 5 - Interação entre a posição do peito de frango na entrada da esteira e o tipo de esteira utilizada na perda de salmoura no estiramento. ....	76
Figura 6 - Interação entre a posição do peito de frango na entrada da esteira e o tipo de esteira utilizada na perda no cozimento. ....	78
Figura 7 - Evolução das quantidades de salmoura exsudada por quantidade de peito de frango em função da altura dos leitos e tempo de cura.....	80
Figura 8 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de fosfato” e “concentração de cloreto de sódio” no ganho de peso no processo de cura para peito de frango (concentração de dextrose fixada em 2% e temperatura de cura em 10°C).....	94
Figura 9 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de dextrose” e “concentração de cloreto de sódio” no ganho de peso no processo de cura para peito de frango (“concentração de fosfato” fixada em 2% e temperatura de cura em 10°C).....	95
Figura 10 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de dextrose” e “concentração de fosfato” no ganho de peso no processo de cura para peito de frango (“concentração de cloreto de sódio” fixada em 4% e temperatura de cura em 10°C).....	96
Figura 11 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de cloreto de sódio” e temperatura de cura no ganho de peso no processo de cura para peito de frango (“concentração de fosfato” e dextrose fixadas em 2%). .....	97
Figura 12 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de dextrose” e “concentração de cloreto de sódio” na perda de peso no cozimento para peito de frango (“concentração de fosfato” fixada em 2% e temperatura de cura em 10°C).....	98

Figura 13 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de dextrose” e “concentração de fosfato” na perda de peso no cozimento para peito de frango (“concentração de cloreto de sódio” fixada em 4% e temperatura de cura em 10°C).....	99
Figura 14 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de cloreto de sódio” e temperatura de cura na perda de peso no cozimento para peito de frango (“concentração de fosfato” e dextrose fixadas em 2%).....	100
Figura 15 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de fosfato” e temperatura de cura na perda de peso no cozimento para peito de frango (“concentração de dextrose” e de cloreto de sódio fixadas em 2% e 4%, respectivamente).....	101
Figura 16 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de dextrose” e temperatura de cura na perda de peso no cozimento para peito de frango (“concentração de fosfato” e de cloreto de sódio fixadas em 2% e 4%, respectivamente).....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo brasileiro de carnes de frangos (1989 – 2003).....	5
Tabela 2 - Exportação mundial de carnes de frango em mil toneladas – principais países (1999 – 2003). .....	6
Tabela 3 - Composição do tecido muscular magro. ....	7
Tabela 4 - Experimentos realizados e matérias-primas utilizadas.....	35
Tabela 5 - Quantidade de salmoura em relação a matéria-prima e tempo de cura para os testes preliminares utilizando como matéria-prima peito de frango cortado em partes. ....	38
Tabela 6 - Quantidade de salmoura em relação a matéria-prima e tempo de cura para os testes preliminares utilizando como matéria-prima peito de frango inteiro. ....	38
Tabela 7 - Matriz do planejamento experimental com a identificação dos níveis das variáveis para os tratamentos de peito de frango. ....	40
Tabela 8 - Matriz do planejamento experimental com a identificação dos níveis das variáveis para os tratamentos de peito de frango cortado em partes.....	43
Tabela 9 - Condições de operação, resultados de perda de peso no cozimento e da análise físico-química para peito de frango cortado em partes. ....	63
Tabela 10 - Condições de operação, resultados de perda de peso no cozimento e da análise físico-química para peito de frango inteiro. ....	64
Tabela 11 - Perda de peso no cozimento para peito de frango em escala industrial, utilizando redução em 15% da quantidade de salmoura no tambeamento e cura. ....	74
Tabela 12 - Influência da disposição dos peitos de frango na esteira e do tipo de esteira na perda de salmoura no processo de estiramento.....	75
Perda de peso no cozimento em função dos diferentes processos de estiramento. ....	77
Tabela 14 - Valores médios das quantidades de salmoura escorrida em função da quantidade de matéria-prima, altura dos leitos e tempo de cura.....	79
Tabela 15 - Rendimentos médios proporcionais no cozimento de peito de frango quando utilizada altura de empilhamento de 65 cm e meia altura de	

empilhamento, e a comparação nos rendimentos entre estas alturas de empilhamento.....	81
Tabela 16 - Influência da posição do peito de frango na entrada do forno na perda de peso e rendimentos no cozimento. ....	82
Tabela 17 - Resultado das análises físico-químicas para peito de frango em função do tratamento utilizado na cura. ....	104
Tabela 18 - Resultados de absorção de salmoura, espessuras iniciais e finais dos peitos de frango, densidade da salmoura e do peito de frango e concentração de umidade, nos diferentes intervalos de tempo de cura, utilizando concentrações de 2% de cloreto de sódio, 3% de fosfato e 4% de dextrose, e temperatura de 5°C.....	106
Tabela 19 - Resultados de absorção de salmoura, espessuras iniciais e finais dos peitos de frango, densidade da salmoura e do peito de frango e concentração de umidade, nos diferentes intervalos de tempo de cura, utilizando concentrações de 6% de cloreto de sódio, 1% de fosfato e 4% de dextrose, e temperatura de 5°C.....	107
Tabela 20 - Resultados de absorção de salmoura, espessuras iniciais e finais dos peitos de frango, densidade da salmoura e do peito de frango e concentração de umidade, nos diferentes intervalos de tempo de cura, utilizando concentrações de 6% de cloreto de sódio, 3% de fosfato e 4% de dextrose, e temperatura de 5°C.....	108
Tabela 21 - Resultados de absorção de salmoura, espessuras iniciais e finais dos peitos de frango, densidade da salmoura e do peito de frango e concentração de umidade, nos diferentes intervalos de tempo de cura, utilizando concentrações de 6% de cloreto de sódio, 3% de fosfato e 4% de dextrose, e temperatura de 15°C.....	109

## LISTA DE ABREVIATURAS

ton	tonelada
NaCl	cloreto de sódio
pH	potencial hidrogeniônico
rpm	rotações por minuto
$C_0$	concentração inicial
$C_{eq}$	concentração de equilíbrio
D	difusividade
L	espessura
GP	ganho de peso
PC	perda no cozimento
m.p.	matéria-prima
$\Sigma$	somatório
MSE	erro médio quadrático
SS	soma dos quadrados
MS	quadrado médio
PVC	poli (cloreto de vinila)

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi otimizar o processo de cozimento de peito de frango, visando reduzir as perdas durante o processamento e a perda de peso durante o cozimento. Foram realizados estudos para a obtenção das melhores quantidades de salmoura, concentrações dos constituintes da salmoura, tempos de maturação e de cura a serem empregados no processamento de peito de frango, além do estudo destas variáveis na cinética de cura para esta matéria-prima. A avaliação destes resultados foi realizada aplicando-se a metodologia de superfície de resposta e, para a caracterização da qualidade da carne, foram analisados critérios como umidade, maciez e cor da carne. Verificou-se que os melhores rendimentos durante o cozimento foram obtidos com menores tempos de cura e menores quantidades de salmoura. A utilização das maiores concentrações dos constituintes da salmoura, cloreto de sódio, fosfato e dextrose, levaram aos maiores ganhos no processo de cura e menores perdas no cozimento para peito de frango. A solução analítica da segunda lei de Fick foi utilizada para calcular os coeficientes de difusão efetivos de cloreto de sódio e estimar o conteúdo de cloreto de sódio absorvido pela carne de peito de frango. Obteve-se boa concordância entre o modelo analítico considerado e os dados experimentais. As difusividades do cloreto de sódio na carne de peito de frango estiveram na faixa de  $8.99 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $9.55 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ . Paralelamente, foram realizados experimentos para determinar as perdas no processo de estiramento, que tem por objetivo padronizar a espessura do peito de frango antes do seu cozimento. Foram verificados maiores rendimentos no cozimento quando utilizada uma esteira lisa no estiramento, aliado à posição das peças com a película virada para o lado liso da estiradeira. Foram realizados experimentos para determinar a influência da altura de empilhamento das peças nos contentores na perda de salmoura durante o processo de cura. As menores perdas de salmoura foram obtidas empregando-se contentores com divisória no meio.

Palavras-chave: peito de frango, cinética de cura, variáveis de processo, perdas no cozimento.

## ABSTRACT

The objective of this work was to optimize the chicken breast production process, aiming to reduce the losses during the processing and the weight loss during the cooking. Studies were accomplished to obtain the best amounts of brine, brine components concentrations, maturation and curing times to be used in the chicken breast processing, besides the study of these variables in the curing kinetics for this raw material. The evaluation of the results was realized applying the response surface methods, for the characterization of the meat quality criteria as humidity, softness and color of the meat were analyzed. It was verified that the best yields during the cooking were obtained with smaller times of curing and smaller amounts of brine. The use of the largest concentrations of the brine components, sodium chloride, phosphate and dextrose, took to the largest gains in the curing process and smaller cooking losses for chicken breast. The analytic solution of the second Fick's law, was used to calculate the diffusion coefficients of sodium chloride and to estimate the content of sodium chloride sodium absorbed by the chicken breast. A good agreement was obtained among the considered analytic model and the experimental data. The sodium chloride diffusivities in the chicken breast were in the range of  $8.99 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  to  $9.55 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ . Simultaneously, experiments were carried out to determine the losses in the stretching process, with the objective of standardize the thickness of the chicken breast before its cooking. Larger yields were verified in the cooking when used a flat mat in the stretching, together with the pieces position with the skin turned to the flat side mat. Still were accomplished experiments to determine the influence of the piling up height of the pieces in the recipients in the brine loss during the curing process. The smaller brine losses were obtained using recipients with a half separation.

Keywords: chicken breast, curing kinetics, process variables, cooking loss.

## CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de carne de frango e o segundo maior exportador, representando 34,98% das exportações mundiais, sendo que Santa Catarina, em 2003, foi o segundo estado em cabeças abatidas e o principal exportador brasileiro (ABEF, 2004).

Em função desta demanda, as indústrias de carnes passaram a aumentar a diversidade de seus produtos buscando a agregação de valor. Além disto, destaca-se a necessidade dos consumidores por alimentos de fácil preparo fazendo com que as indústrias desenvolvam tecnologias de processamento adequadas para fornecer alimentos prontos, ou semi prontos. Verifica-se que esta é uma tendência por parte das indústrias processadoras de carne, pois melhora a qualidade do produto final, estende o período de vida útil do produto, agrega valor e traz conveniência ao consumidor (LEMOS, 2004). No caso do frango, uma das formas de apresentação pode ser como peito inteiro ou cortado, cozido ou cozido e assado, que têm como principais etapas de processo o tambleamento, cura e cozimento. O tratamento da matéria-prima e os constituintes da salmoura, aliados a uma forma adequada de cozimento devem atender aos requisitos de segurança alimentar, gerando um rendimento de produção que seja vantajoso para a indústria.

A mais importante propriedade tecnológica e sensorial dos produtos cárneos depende da capacidade do tecido muscular de ligar e reter água e formar géis. Estas propriedades, como maciez, suculência, cor, capacidade de retenção de água, estão associadas com as mudanças que ocorrem na carne após o atordoamento e com a aplicação de substâncias durante o processo tecnológico (MEDYNSKI *et al.*, 2000).

O sal é considerado o mais importante ingrediente de cura por promover sabor e tenderização à carne. O cloreto de sódio tem sido utilizado por sua propriedade de ligação nas carnes de frango pelo aumento da solubilidade das

proteínas miofibrilares (PARDI *et al.*, 1995; HONGSPRABHAS e BARBUT, 1999; LAWRENCE *et al.*, 2003).

Além do sal, há diversos tipos de açúcares que podem ser usados na formulação de salmouras de cura e misturas secas. Alguns exemplos de açúcares comumente usados são a sacarose, dextrose, e xarope de milho. Esses constituintes são mais comumente usados como adoçantes pelas indústrias de carnes, e funcionam como neutralizadores da aspereza do sal, e proporcionam o melhoramento do sabor (MARTIN, 2001).

Os fosfatos também são muito utilizados como aditivos em carnes, peixes e frangos, por apresentarem importantes propriedades funcionais. Em produtos cárneos, os fosfatos são geralmente usados para melhorar a capacidade de retenção de água e aumentar os rendimentos no cozimento (SHAHIDI e SYNOWIECKI, 1997).

O processo de cura é muito utilizado, tendo em vista a observação de que a imersão da carne em salmoura com alguns ingredientes pode melhorar seu sabor, aumentar a suculência, contribuir para melhora da maciez e aumentar a capacidade de retenção de água da carne, este critério é importante para determinar a qualidade da carne, pois indica a capacidade da carne e dos produtos cárneos em manter a água ligada sob condições específicas. A sua importância reside no fato de que esta característica está relacionada com o aspecto da carne antes do cozimento, comportamento durante a cocção e palatabilidade do produto (GARCIA *et al.*, 2002).

Assim, o **objetivo** deste trabalho foi otimizar o processo de produção de peito de frango, visando reduzir as perdas durante o processamento e a perda de peso durante o cozimento.

Os **objetivos específicos** foram:

- adequar os ingredientes de cura à quantidade de matéria-prima;
- adequar o volume de salmoura adicionada no tambeamento;
- avaliar a cinética de cura;
- avaliar o tempo de maturação, de tambeamento e de cura do produto;
- determinar as perdas de salmoura na cura e no estiramento;
- determinar a perda de peso no cozimento.

Este trabalho é estruturado em cinco partes. O capítulo II traz os embasamentos teóricos pertinentes à análise dos resultados, bem como bibliografia encontrada sobre o assunto. O capítulo III descreve a metodologia utilizada na condução dos experimentos. Os resultados dos experimentos estão apresentados no capítulo IV, onde os resultados da avaliação da cinética de cura para peito de frango e da avaliação dos efeitos das variáveis de processo no rendimento de peito de frango cozido estão apresentados na forma de artigos, intitulados: “Cinética da difusão de cloreto de sódio em peito de frango (*Pectoralis major*) durante o processo de cura” e “Efeito das variáveis de processo no rendimento de peito de frango cozido”, respectivamente. As conclusões e sugestões são apresentadas no capítulo V. Ao final, estão incluídos alguns anexos para complementação do trabalho.

## **CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CARNE DE FRANGO**

A produção de carne de frango teve um acentuado crescimento nos últimos tempos, principalmente em função da demanda do mercado internacional. Com o aumento da produção e estabilização dos preços, beneficiou-se também o consumidor que passou a incorporar a carne de frango em seus hábitos alimentares. Devido às características biológicas próprias e aos grandes avanços zootécnicos neste meio, a produção de carne de aves não somente ultrapassou a de carne de suínos, mas inclusive a de bovinos (IBGE, 2004).

Segundo dados da ABEF – Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frango (2004), as exportações brasileiras de carne de frango atingiram US\$ 217,8 milhões em outubro de 2004, com um crescimento de 44% em relação ao mesmo mês de 2003. O desempenho foi obtido com embarques de 219.329 toneladas, o que corresponde a um incremento de 39,4%. Com estes resultados, no acumulado janeiro-outubro de 2004 as exportações somaram uma receita cambial US\$ 2,145 bilhões, ou 47% acima do verificado no mesmo período do ano anterior e embarques de 2,034 milhões de toneladas, com crescimento de 26% em relação a janeiro-outubro de 2003. O desempenho até outubro indica que as exportações de carne de frango em 2004 vão gerar uma receita cambial de aproximadamente US\$ 2,5 bilhões, com embarques de 2,4 milhões de toneladas, o que corresponde a um crescimento de 25% nos volumes e de 40% na receita cambial, em relação ao desempenho do ano passado.

Destaca-se a participação crescente de produtos de frango industrializados nas exportações brasileiras, sendo que o acumulado janeiro-outubro de 2004 aponta um crescimento de 22% nos volumes, com embarques de 35.911 toneladas, e de 15% na receita cambial, com US\$ 80,2 milhões.

A Tabela 1 mostra o crescimento do consumo da carne de frango no Brasil nos últimos 14 anos, onde se verifica um aumento de mais de 20 kg/habitante/ano, durante este período.

Tabela 1 - Consumo brasileiro de carnes de frangos (1989 – 2003).

Ano	Mercado interno (ton.)	Crescimento (%)	kg/habitante	Crescimento (%)
1989	1.811.396	-	12,73	-
1990	1.968.069	8,65	13,60	6,83
1991	2.200.211	11,80	14,96	10,00
1992	2.350.567	6,83	15,74	5,21
1993	2.709.500	15,27	17,87	13,53
1994	2.929.997	8,14	19,06	6,66
1995	3.616.705	23,40	23,21	21,77
1996	3.482.767	-3,70	22,05	-4,97
1997	3.811.569	9,44	23,83	8,07
1998	4.262.231	11,82	26,31	10,41
1999	4.755.492	22,38	29,14	2,13
2000	5.069.777	6,61	29,91	2,64
2001	5.486.408	8,22	31,82	6,39
2002	5.917.000	7,85	33,81	9,41
2003	5.920.908	0,07	33,34	-1,40

FONTE: ABEF (2004).

A Tabela 2 apresenta as quantidades de carne de frango exportadas no período de quatro anos, para os principais países exportadores. Verifica-se que o Brasil contribuiu com 31,63% da exportação mundial de carnes de frango no ano de 2003, sendo o segundo maior exportador.

Tabela 2 - Exportação mundial de carnes de frango em mil toneladas – principais países (1999 – 2003).

Ano	EUA	Brasil	UE	China	Tailândia	Mundo
1999	2.080	771	776	375	285	4.442
2000	2.231	907	774	464	333	4.856
2001	2.520	1.249	724	489	424	5.589
2002	2.180	1.600	843	438	465	5.769
2003	2.237	1.922	730	388	528	6.075

FONTE: USDA/ABEF (2004).

## 2.2 ESTRUTURA E PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA CARNE

### 2.2.1 Composição química e valor nutritivo da carne

A importância da carne não deriva somente de seu atrativo sensorial, mas também de seu elevado valor nutritivo. Constitui um alimento nobre para o homem, em função da produção de energia, da função plástica na formação de novos tecidos orgânicos e regulação dos processos fisiológicos. A Tabela 3 mostra a composição do tecido muscular magro, que é relativamente constante para uma grande diversidade de animais. Verifica-se que a umidade é o componente de maior variação, assim como a quantidade de lipídios, sendo que a quantidade destes dois componentes é inversamente proporcional, independente da espécie (KRAMLICH *et al.*, 1973). Além dos componentes apresentados, o tecido muscular ainda apresenta, em pequenas quantidades, compostos nitrogenados não protéicos, carboidratos, componentes inorgânicos e outras substâncias não nitrogenadas (PARDI *et al.*, 1995).

Tabela 3 - Composição do tecido muscular magro.

Espécie	Composição (%)			
	Umidade	Proteína	Lipídios	Cinzas
Gado	70,0 – 73,0	20,0 – 22,0	4,0 – 8,0	1,0
Porco	68,0 -70,0	19,0 – 20,0	9,0 – 11,0	1,4
Frango	73,7	20,0 – 23,0	4,7	1,0
Ovelha	73,0	20,0	5,0 – 6,0	1,6
Bacalhau	81,2	17,6	0,3	1,2
Salmão	64,0	20,0 – 22,0	13,0 – 15,0	1,3

FONTES: HULTIN, 1993.

Além de seu valor plástico e energético, as proteínas são necessárias na formação de enzimas, hormônios e hemoglobina. Elas participam ainda da regulação do metabolismo hídrico, da determinação do pH dos diversos tecidos e do processo de imunidade natural às infecções (PARDI *et al.*, 1995).

A carne é um dos alimentos mais nutritivos usados para consumo humano, é particularmente rica em proteínas de alta qualidade, vitaminas do complexo B e A, é uma boa fonte de vários minerais, especialmente ferro (JUDGE *et al.*, 1989).

### 2.2.1.1 Lipídios

Os lipídios presentes na constituição da carne, desempenham um relevante papel na alimentação, graças ao seu valor energético (8,5 cal/g), aos ácidos graxos essenciais, às vitaminas lipossolúveis e aos fosfolipídios que contêm, ao lado de características sensoriais especiais que revelam pela sua textura, sabor e aplicações culinárias. O valor calórico dos lipídios da carne procede dos ácidos graxos, dos triglicerídios e dos fosfolipídios. Os lipídios constituem o componente mais variável da carne, oscilando sua proporção conforme a espécie, a raça, o sexo, o manejo, a alimentação, a região anatômica, a idade do animal e até mesmo o clima (LAWRIE, 1985). Pardi *et al.*, 1995 reportam que bovinos criados

na região sul do Brasil, onde predominam as raças britânicas de corte e onde o inverno é mais rigoroso, apresentam menores quantidades de gordura do que os criados na região central e região norte, onde a raça predominante é o bovino azebuano. A idade do animal também tem marcada influência no teor de gordura, sendo que quanto mais velho o animal maior será o teor de gordura.

### **2.2.1.2 Sais minerais**

A carne contém substâncias minerais que exercem papel biológico importante em sua constituição, como a manutenção de uma reação quase neutra nos tecidos e líquidos orgânicos, e a reação estimulante exercida sobre a atividade de muitas enzimas. Essas substâncias minerais constituem ainda parte integrante de determinados hormônios e de um grande número de enzimas, ao mesmo tempo em que intervêm na regulação da atividade muscular e nervosa (NIINIVAARA e ANTILA, 1973).

Dentre as substâncias minerais da carne, o fósforo e o potássio predominam quantitativamente, seguidos do sódio e do magnésio, e depois do cálcio e do ferro, sendo a presença de ferro percentualmente maior nas espécies com maior concentração de mioglobina, sendo maior nos bovinos do que ovinos, ou nos suínos (KRAMLICH *et al.*, 1973; PARDI *et al.*, 1995).

### **2.2.1.3 Água**

A água contida no tecido muscular, em proporção variável entre 71 e 76%, desempenha importante função nos processos vitais como solvente das substâncias orgânicas e inorgânicas, bem como de soluções coloidais (proteínas, carboidratos). Ela permite o transporte e a reação das substâncias no organismo. Nos biossistemas, a água é um meio de dispersão da matéria viva. Deste modo,

as reações biológicas somente ocorrem na presença de água ou em meios aquosos. Nos sistemas biológicos, a água é normalmente classificada em dois tipos, dependendo se está ou não “disponível”, água livre e água ligada. A primeira é necessária aos biosistemas quando em atividade. A última serve de proteção à estrutura, não podendo ser congelada ou evaporada (PARDI *et al.*, 1995).

#### **2.2.1.4 Proteínas da carne**

A carne é considerada como um alimento altamente protéico. Do total de nitrogênio presente no músculo, aproximadamente 95% é proteína e 5% são pequenos peptídios, aminoácidos e outros compostos. A qualidade da proteína é muito alta, os tipos e proporções de aminoácidos são similares aos requeridos para o crescimento e manutenção do tecido humano. Dos aminoácidos essenciais, a carne aporta grandes quantidades de lisina e treonina e quantidades adequadas de metionina e triptofano. A digestibilidade da proteína da carne, como do leite e ovos, é 94-97%, comparada com 78-88% para as proteínas vegetais (VARNAM e SUTHERLAND, 1995).

As proteínas do músculo, ou da carne, podem ser divididas em três diferentes frações com base em sua função e solubilidade: sarcoplasmáticas ou solúveis em água, miofibrilares ou solúveis em sal, e do tecido conectivo ou insolúveis (KRAMLICH *et al.*, 1973).

A fração sarcoplasmática consiste nas proteínas encontradas no sarcoplasma, estas proteínas são referidas como as proteínas solúveis em água, por serem comumente extraídas com água ou em soluções salinas de baixa força iônica (0,06). Esta fração contém enzimas oxidativas, incluindo os citocromos, nucleotídeos e vários pigmentos heme. A fração sarcoplasmática também contém as enzimas glicolíticas, as quais controlam a glicólise aeróbia e anaeróbia, funcionando na conversão de glicogênio a ácido lático e a oxidação aeróbia do

piruvato. Ainda, a classificação sarcoplasmática contém núcleo proteínas, com função de regular a síntese e deposição das proteínas (KRAMLICH *et al.*, 1973).

Às proteínas sarcoplasmáticas pertencem, dentre outras substâncias, o miogênio, a mioglobulina, a mioglobina e a hemoglobina, as duas últimas conferindo à carne cor própria, comparecendo ambas numa proporção de 25% a 30% (PARDI, *et al.*, 1995).

As proteínas miofibrilares são também conhecidas como proteínas contrácteis devido à sua função na contração muscular e na locomoção. Após a morte, estas proteínas têm função no desenvolvimento do *rigor mortis*, esta é uma reação essencial e irreversível limitada pela indisponibilidade de substrato (KRAMLICH *et al.*, 1973). As principais proteínas da fração miofibrilar são a actina e a miosina, e a forma combinada actomiosina, que resulta da contração muscular, ou no caso da carne, durante o desenvolvimento do *rigor mortis*. Estas proteínas constituem aproximadamente 65% das proteínas miofibrilares (JUDGE *et al.*, 1989).

Dentre as proteínas miofibrilares, distinguem-se ainda a tropomiosina, a troponina, a proteína C e as proteínas M, proteínas estas solúveis em sal, comumente extraídas com cloreto de potássio, com força iônica de 0,3. A solubilidade em sal desta fração se torna uma vantagem para estabilizar as emulsões na elaboração de embutidos (PARDI *et al.*, 1995).

As proteínas do tecido conectivo funcionam como estrutura de suporte para sustentação do corpo, e desta forma têm várias funções. Esta fração inclui duas distintas proteínas, o colágeno e a elastina (ABERLE *et al.*, 2001).

O colágeno é a mais abundante proteína do tecido conjuntivo, presente no corpo do animal, e tem influência significativa na tenderização da carne. É a principal proteína estrutural do tecido conectivo, e o maior componente dos tendões e ligamentos, e está presente em menor quantidade nos ossos e cartilagens (JUDGE *et al.*, 1989). As fibras de colágeno não são dissolvidas por soluções ácidas ou alcalinas, ou por soluções concentradas de sais neutros, exceto quando previamente desnaturadas pelo calor. As fibras são facilmente digeridas pela pepsina e colagenase, mas são resistentes à tripsina e

quimotripsina. O colágeno é caracterizado por sofrer um intenso encolhimento térmico a uma dada temperatura e prolongados tratamentos térmicos levam à conversão de colágeno à gelatina líquida. Apresenta ainda a propriedade de acumular gordura em emulsões para embutidos (KRAMLICH *et al.*, 1973).

A elastina é menos abundante no tecido conectivo do que o colágeno. Está presente em ligamentos e nas paredes das artérias, bem como na estrutura de vários órgãos, incluindo o músculo. As fibras de elastina são facilmente estiradas e, quando a tensão é desfeita, eles retornam ao seu comprimento original (JUDGE *et al.*, 1989). Como a elastina é relativamente não reativa, tem distinto efeito sobre a capacidade de emulsificação (KRAMLICH *et al.*, 1973).

### **2.2.2 Estrutura do tecido muscular**

A fibra muscular constitui a unidade estrutural dos músculos. São conhecidos três tipos de músculos: músculo liso ou involuntário, músculo estriado esquelético ou voluntário e músculo estriado cardíaco. Na sua organização e disposição, as fibras musculares estriadas esqueléticas estão agrupadas formando feixes envolvidos por uma membrana conjuntiva que recebe o nome de epimísio. Deste, partem septos que vão envolver pequenos feixes de fibras que são chamados perimísio, partindo daí septos que rodeiam cada fibra e que recebem o nome de endomísio (PARDI, *et al.*, 1995). A Figura 1 mostra a representação diagramática da estrutura muscular macroscópica e microscópica.

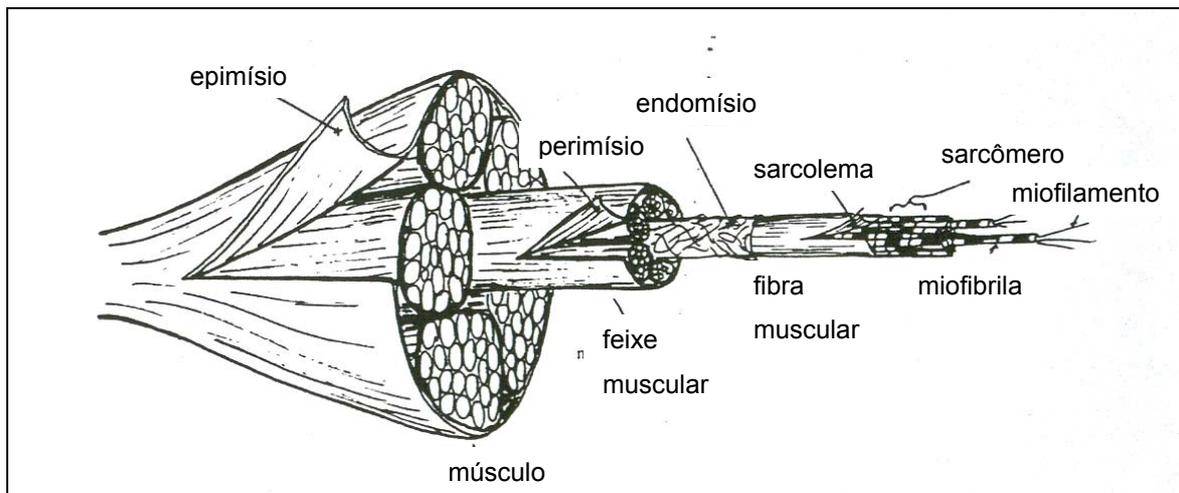


Figura 1 - Representação diagramática da estrutura muscular macroscópica e microscópica - fonte: CHRYSTALL, obtida em ABERLE *et al.*, 2001).

No músculo estriado cardíaco, o tecido que equivale ao endomísio apresenta abundância em capilares sangüíneos. De acordo com Lawrie (1985), as fibras da musculatura lisa são envolvidas por uma delicada rede de fibras musculares do tecido conjuntivo, a proporção relativa de tecido conjuntivo e de fibras musculares, variável nos diversos músculos, é, em parte, responsável pela sua maior dureza. As fibras musculares apresentam a unidade estrutural dos músculos e constituem de 75 a 92% do volume muscular total, sendo o restante preenchido por tecidos conjuntivos, Soros sangüíneos, fibras nervosas e líquido extracelular, sendo que este último aparece em maior volume.

As fibras musculares estriadas esqueléticas de mamíferos e aves consistem em células filamentosas compridas, não ramificadas, que diminuem de diâmetro em suas extremidades, tomando a forma de um cone. Mesmo alcançando vários centímetros de comprimento, vias de regra as fibras musculares não são tão compridas como o músculo completo. Seu diâmetro varia em largos limites, oscilando em uma mesma espécie e, por vezes, em um mesmo músculo entre 10 e 100µm. Seu diâmetro varia ainda com a raça e o sexo. As fibras musculares esqueléticas aumentam com a idade, com o plano de nutrição, com o exercício físico e com a velocidade de crescimento pós-natal (PEARSON e GILLET, 1996).

## 2.3 PROCESSAMENTO DA CARNE DE FRANGO

### 2.3.1 Maturação ou equalização da matéria-prima

Desde que as operações de abate obedecem às normas técnicas da higiene, a carne pode ser conservada por algum tempo à temperatura ambiente e, por algumas semanas, se mantida em torno de 0°C. O processo que consiste em manter a carne fresca à temperatura superior ao ponto de congelamento (-1,5°C) é chamado maturação. A maturação tem por objetivo tornar as carnes mais tenras e aromáticas, sendo esta mudança devida sobretudo, à atividade enzimática (PARDI *et al.*, 1995). Para uma maturação correta é importante que ocorra uma adequada acidificação da carne (pH = 5,4 a 5,8). Valores finais elevados podem conduzir a uma alteração bacteriana. Durante a maturação, se produz um discreto aumento do pH, que não deve superar o valor 6,0 (PRÄNDL *et al.*, 1994).

Segundo Aberle *et al.* (2001), o amaciamento que tem lugar durante a maturação é devido, em parte, à degradação de alguns dos tecidos conjuntivos do colágeno do músculo, através da ação das catepsinas. Além das proteínas musculares sofrerem a ação das enzimas proteolíticas, são sujeitas ainda à desnaturação que atinge também o colágeno em consequência da rápida queda do pH.

Lawrie (1985) considera que durante o processo de maturação não se produz a proteólise das proteínas do tecido conjuntivo nem das proteínas das miofibrilas, indicando que o incremento de produtos solúveis da degradação das proteínas deve proceder das proteínas sarcoplasmáticas. Este autor considera evidente a existência de enzimas no músculo, as catepsinas, que atuam durante o processo de maturação que tem lugar após a morte, hidrolisando as proteínas sarcoplasmáticas em peptídios e aminoácidos. O pH ótimo de atuação das catepsinas se situaria em torno de 4,0. Quanto algumas de suas características, a desnaturação manifesta-se geralmente pelo aumento da reação de diversos grupos sangüíneos, perda de atividade biológica nas proteínas das enzimas e

hormônios, pela modificação de forma ou tamanho molecular e pela redução da solubilidade.

## **2.3.2 Processo de cura**

### **2.3.2.1 Utilização de aditivos alimentares**

Muitas substâncias podem ser adicionadas aos alimentos para melhorar suas propriedades funcionais. Quando estas substâncias químicas são adicionadas aos alimentos processados elas são denominadas “aditivos alimentares”. Todos estes aditivos devem desempenhar alguma função útil que justifique seu uso. Normalmente são considerados funções próprias dos aditivos alimentares aumentar a conservação, o valor nutritivo, conferir ou melhorar alguma propriedade funcional, facilitar o processamento e aumentar a aceitação pelo consumidor (LINDSAY, 1993).

Carnes curadas são produtos baseados na adição de sais que agem como agentes preservativos e também são responsáveis por causar fenômenos físico-químicos e bioquímicos que contribuem para o desenvolvimento de sabor (GIL *et al.*, 1999).

Os ingredientes básicos utilizados no processo de cura são sal, açúcares e nitrito ou nitrato. Entretanto, fosfatos são comumente adicionados às salmouras de cura. Outros componentes podem ser utilizados, como condimentos, bicarbonato de sódio, eritorbato de sódio, proteínas vegetais hidrolisadas e glutamato monosódico (KRAMLICH, *et al.*, 1973).

Estudos prévios têm demonstrado um efeito sinérgico do sal e fosfatos em carnes na diminuição de perdas no cozimento, melhoramento na textura e aumento da capacidade de retenção de água (LEMOS *et al.*, 1999).

Varnam e Sutherland (1995) indicam que, para produtos de frango cozidos, se utiliza uma salmoura com baixa quantidade de cloreto de sódio, para evitar um

sabor metálico intenso e os açúcares também se utilizam com este propósito. Os polifosfatos e, em alguns casos, os agentes ligantes, estão presentes para favorecer a incorporação da salmoura e reduzir as perdas no cozimento.

Vários dados da literatura indicam que a utilização de salmouras é uma via efetiva para acentuar a maciez e a palatabilidade geral da carne. Soluções contendo cloreto de sódio aumentam os rendimentos no cozimento, diminuem o pH *post mortem* e aumentam a água ligada. A adição de fosfatos tem demonstrado o aumento da água ligada, pH, e a solubilização das proteínas (BOLES e SWAN, 1997). Adicionalmente, estas pesquisas mostraram que a incorporação de glicose inibiu o declínio do pH pela inibição da depressão do glicogênio e da glicólise. Este aumento do pH resulta no aumento da capacidade de retenção de água, o qual induz ao aumento dos sucos melhorando a palatabilidade dos produtos (MURPHY e ZERBY, 2004).

#### **2.3.2.1.1 Utilização de fosfatos**

A adição nas carnes cruas e cozidas de determinados fosfatos aumenta a sua capacidade de retenção de água. Por isso, os fosfatos são utilizados na fabricação de salsichas, em presuntos curados e para diminuir as perdas por exsudação em carnes de frangos e em produtos derivados da pesca. O tripolifosfato sódico ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) é o composto mais freqüentemente utilizado em carnes, frango e pescados processados. Pode ser usado também misturado com hexametáfosfato sódico [ $(\text{NaPO}_3)_n$ ,  $n = 10-15$ ] para aumentar a tolerância dos íons de cálcio que se encontram presentes nas salmouras que contém determinadas quantidades de cálcio (LINDSAY, 1993; HOUBEN e TJEERDSMA-VAN BOKHOVEN, 2004).

Os fosfatos são importantes aditivos funcionais usados em uma variedade de alimentos, incluindo carne, frango, peixe, frutas e produtos vegetais. Em produtos cárneos, os fosfatos são geralmente utilizados para aumentar a

capacidade de retenção de água e conseqüentemente os rendimentos no cozimento, melhorar o sabor e textura da carne devido à retenção de sucos, reduzir o desenvolvimento de rancidez oxidativa, diminuir o sabor a requeimado da carne quando está é novamente cozida, favorecer a coloração. Agem como emulsificantes e conservantes de vários alimentos, também, quando reagem com os metais polivalentes têm efeito sequestrante ao inativá-los, impedindo que participem da oxidação das gorduras, ou ainda que sirvam ao metabolismo microbiano.

O aumento da capacidade de retenção de água ocorre através de dois mecanismos de ação, aumento do pH da carne proveniente do ponto isoelétrico e força iônica e solubilização das proteínas musculares (TOWNSEND e OLSON, 1994; PARDI *et al.*, 1995; SHAHIDI e SYNOWIECKI, 1997).

Os polifosfatos têm um marcado efeito nas características de produtos de frango, ajudam a estabilizar a cor e o “flavor”, aumentam a maciez do peito de frango, reduzem perdas no cozimento e na fritura, aumentam a capacidade de retenção de água além de apresentarem propriedades emulsificantes (FARR e MAY, 1970, citado por LEMOS *et al.*, 1999). Yang e Chen (1993) verificaram um aumento na coloração vermelha em produtos cozidos de peru quando utilizado polifosfatos.

Alguns autores afirmam que uma das principais funções dos polifosfatos é formar complexos com o cálcio produzindo um relaxamento da estrutura tisular da carne (LINDSAY, 1993). Lawrence *et al.* (2003) sugerem que os fosfatos não podem ser complexados com o cálcio que já foi ligado à proteína muscular. O efeito dos fosfatos no aumento da capacidade de retenção de água é também devido à sua habilidade de seqüestrar íons metálicos divalentes, para interagir com as proteínas da carne e dissociar as ligações cruzadas entre a actina e a miosina aumentando a repulsão eletrostática entre as cadeias peptídicas. A água exterior disponível pode então ser captada dando imobilidade dentro da estrutura protéica distendida (TROUT e SCHMIDT, 1984).

Quando adicionados à carne, os fosfatos podem também mudar positivamente grupos de proteínas. Durante o repouso, a molécula pode atrair

moléculas de água e aumentar a capacidade de retenção de água atuando como um poliânion. Entretanto, o pH e força iônica são os fatores mais importantes responsáveis por melhorar a capacidade de retenção de água das proteínas da carne (SHAHIDI e SYNOWIECKI, 1997).

Os fosfatos também podem funcionar como preservativos porque eles retardam o desenvolvimento da rancidez oxidativa e também podem reduzir a velocidade de crescimento microbiano pela ligação de íons metálicos (HOUBEN e TJEERDSMA-VAN BOKHOVEN, 2004). Poucos dados estão disponíveis sobre os efeitos inibitório dos fosfatos em microrganismos nas carnes processadas. Em muitos dos estudos, misturas comerciais de polifosfatos e esporos de microrganismos foram usados. Di e tripolifosfatos foram utilizados para inibir vários graus de crescimento de bactérias, como *Salmonella* spp. (GARIBALDI *et al.*, 1969), *Moraxella*, *Acinetobacter* (FIRSTENBERG-EDEN *et al.*, 1981), *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, (MOLINS *et al.*, 1984), *S. aureus* (SHELEF *et al.*, 1990), e *Aeromonas hydrophila* (VELA'ZQUEZ *et al.*, 2001).

Os fosfatos alcalinos são freqüentemente incorporados nas salmouras de cura. Entretanto, eles não entram diretamente na reação de cura, eles aumentam a capacidade de retenção de água e reduzem o encolhimento dos produtos cárneos durante o processamento (JUDGE *et al.*, 1989). Os fosfatos alcalinos são mais eficazes, pois os fosfatos ácidos diminuem o pH e causam uma maior contração muscular (KRAMLICH *et al.*, 1973; TOWNSEND e OLSON, 1994).

Em produtos cárneos picados, tais como salsichas e embutido tipo mortadela, a adição de cloreto de sódio (2,5 – 4,0%) e polifosfatos (0,35 – 0,50%) contribui para estabilizar ainda mais a emulsão e, depois da cocção, proporcionar uma maior coesão das proteínas coaguladas. No caso de mariscos e frangos imersos em soluções com 6 a 12% de polifosfatos e com retenção de 0,35 a 0,50%, durante a fase de cocção se forma uma capa de proteínas coaguladas que aumenta a retenção de umidade, devido ao efeito da solubilização induzida pelos fosfatos sobre a superfície dos tecidos (LINDSAY, 1993).

### 2.3.2.1.2 Utilização de cloreto de sódio

O cloreto de sódio é o ingrediente básico utilizado em salmouras na tecnologia de carnes e, sem a sua inclusão o processo de cura seria incompleta (MARTIN, 2001). O sal é o mais importante dos condimentos e o elemento de uso mais amplo nas carnes preparadas, pois melhora o sabor e maciez da carne. Além disto, é essencial na nutrição humana e tem sido um valioso ingrediente alimentar desde o começo da civilização (PARDI *et al.*, 1995; LEMOS *et al.*, 1999). O aumento da capacidade de retenção de água, causada pela aplicação de sal é atribuída ao aumento da solubilidade das proteínas da carne bem como da força iônica. Além disso, o cloreto de sódio muda o ponto isoelétrico das proteínas da carne em relação a baixos valores de pH, melhorando as propriedades de retenção de água (MEDYNSKI, *et al.*, 2000; MARTIN, 2001).

Pardi *et al.* (1995) indicam que a função do cloreto de sódio é extrair e solubilizar as proteínas miofibrilares, a extração e solubilização destas proteínas musculares contribuem para a ligação da partícula da carne, para a emulsificação da gordura e para o aumento da capacidade de retenção de água. Assim, ele reduz as perdas por cozimento e melhora a qualidade e textura do produto. Quando o produto cru é cozido, a gordura, a água e os outros constituintes são atraídos dentro da matriz da proteína cárnea coagulada para formar produtos aceitáveis em relação ao rendimento, maciez, umidade, textura e qualidade global.

O sal (cloreto de sódio) é adicionado em todas as formulações de salmouras de cura. Geralmente não é usado em altas concentrações, mas o suficiente para ter efeito conservativo, sua função principal é solubilizar as proteínas e desenvolver o “flavor” (JUDGE *et al.*, 1989).

A pureza do sal utilizado nas salmouras é muito importante, só deve ser empregado sal de grau alimentar, uma vez que as possíveis impurezas poderiam causar problemas de cor e sabor, acelerar o desenvolvimento da oxidação lipídica. Os fosfatos e nitritos podem ser utilizados para ajudar a retardar estes efeitos (TOWNSEND e OLSON, 1994; MARTIN, 2001).

Estudos recentes mostram que níveis de cloreto de sódio de 1,0 a 1,5% resultam em produtos cárneos emulsificados instáveis, enquanto que níveis de 1,5 a 2,5% de cloreto de sódio são necessários para a formulação de produtos aceitáveis. Níveis de 1,2 a 1,8% fornecem uma liga adequada somente quando o pH da carne é suficientemente alto (maior que 6,0). Níveis reduzidos de cloreto de sódio têm, também, resultado na diminuição da aceitabilidade do produto, devido à menor consistência e decréscimo de pontos na avaliação do “flavor” (PARDI *et al.*, 1995).

Os níveis de cloreto de sódio utilizados dependem do pH do produto, da origem da carne e do tipo de produto que se deseja obter. As salmouras variam de 30 a 85° no salinômetro. A força de uma salmoura é expressa em termos de grau de salmoura, que é essencialmente uma medida de sua densidade. O salinômetro é um hidrômetro graduado para mostrar o grau de saturação das salmouras. Um nível aceitável de sal nos presuntos é de 3%, e aproximadamente 2% para bacon. Tem-se tentado reduzir os níveis de sal nas carnes curadas e processadas sem afetar a segurança microbiológica, devido à relação entre altos níveis de sal na dieta e a hipertensão (TOWNSEND e OLSON, 1994; RUUSUNEN *et al.*, 2005).

Alguns autores indicam a incidência de hipertensão ao excesso de sal consumido, sendo esta a principal razão para redução do conteúdo de cloreto de sódio nas carnes processadas. A maior porção de sódio na dieta deriva de alimentos processados, principalmente na forma de cloreto de sódio. Comumente este sal é utilizado na produção de produtos cárneos devido a seu efeito na textura, “flavor” e vida de prateleira. A redução do sal em produtos cárneos tem efeito adverso na retenção de água e gordura, aumentando as perdas no cozimento, interferindo na qualidade sensorial, como textura e principalmente no sabor. A percepção do sal (cloreto de sódio) é produzida pelo cátion  $\text{Na}^+$  em combinação com o ânion  $\text{Cl}^-$ . O sal também age como intensificador de sabor nos produtos cárneos (RUUSUNEN *et al.*, 2005).

### 2.3.2.1.3 Utilização de açúcares

Os hidratos de carbono ou açúcares são combinações químicas de carbono, hidrogênio e oxigênio. Exercem um papel fundamental por serem redutores e servirem como base das fermentações essenciais para a maturação (PARDI *et al.*, 1995). Os açúcares estimulam a seleção dos microrganismos adequados para a cura, uma vez que todos os microrganismos acidificantes metabolizam os açúcares como substrato (PRÄNDL *et al.*, 1994). Os açúcares normalmente empregados na tecnologia de carnes são, a sacarose, a dextrose ou glicose, o açúcar de cana e os edulcorantes artificiais. Os tipos e níveis utilizados dependem do produto (MARTIN, 2001).

Os açúcares desempenham várias funções importantes na carne curada. Atuam sobre o sabor, e ajudam a suavizar os produtos pela neutralização da aspereza e o efeito de ressecamento do sal, interferindo na perda de umidade. Os açúcares também interagem com grupos aminos das proteínas e, sobre o cozimento, açúcares proporcionam sabor e aroma característicos, e especialmente no caso de açúcares redutores, melhoram a cor, douram os produtos aumentando o sabor nas carnes curadas (KRAMLICH *et al.*, 1973; TOWNSEND e OLSON, 1994; VARNAM e SUTHERLAND, 1995).

Young *et al.* (1988) investigaram o efeito da adição de açúcares no pré-rigor para carnes picadas. Adicionaram 0,5, 1,0 ou 1,5% de glicose e inibiram o declínio do pH *post-mortem* para 5,9, 6,1 e 6,2, respectivamente, comparado com o pH controle de 5,4. O efeito parece ser específico para glicose, pois os níveis de glicogênio diminuíram mais lentamente com o uso de glicose do que com outros açúcares utilizados. Estes pesquisadores sugeriram que a glicose inibiu a fosforilase, e desta forma inibindo a interrupção do glicogênio e da glicólise. Outros substratos ou produtos da glicólise como o lactato pode também afetar a taxa de glicólise e o declínio do pH.

### **2.3.2.2 Métodos de incorporação dos ingredientes de cura**

#### **2.3.2.2.1 Cura a seco**

Este método consiste em incorporar os agentes de cura na carne, na forma seca, através de fricção na superfície das peças, ou simples deposição sobre elas. Os ingredientes normalmente empregados são sal, açúcar, nitrato e nitrito (KRAMLICH *et al.*, 1973; JUDGE *et al.*, 1989). Durante o processo há extravasamento de exsudado que, sob forma de salmoura, é escoado livremente ou pode mesmo recobrir as peças contidas em algum recipiente. Na maioria das operações de cura a seco, a temperatura é mantida numa faixa de 2,2 a 4,4°C, sendo que a penetração dos ingredientes é mais favorável em temperaturas mais altas, porém, em virtude das possibilidades de multiplicação microbiana o produto deve ser mantido nesta faixa de temperatura (TOWNSEND e OLSON, 1994). O tempo de cura e quantidade de ingredientes que serão adicionados depende das características de tamanho e composição da matéria-prima utilizada, respeitando-se sempre os limites estipulados pela legislação. Segundo Möhler (1980), o presunto cru de Parma, requer um período mínimo de seis meses de cura, contém geralmente de 1 a 2 mg de nitrito e 5 mg de nitrato por quilograma.

#### **2.3.2.2.2 Cura úmida por imersão**

Entende-se por cura úmida a introdução da carne em um banho de salmoura, mantendo-se esta condição até conseguir a cura total, ou seja, até que a penetração por difusão do sal e agentes curantes na carne seja suficiente (PRÄNDL *et al.*, 1994). Neste método, os ingredientes podem ser os mesmos da cura a seco, porém são dissolvidos em água para formar uma salmoura. O produto é imerso nesta solução até que alcance o equilíbrio entre a fase líquida e a massa de carne. A penetração é lenta, e a quantidade de salmoura absorvida

varia com o tamanho e capacidade de absorção. A absorção de salmoura em carne de frango depende da parte selecionada. De acordo com Post e Heath (1983) e Chen (1982), o peito de frango absorve maiores quantidades de salmoura que a coxa.

O processo de cura úmida por imersão requer espaço e tempo. Entretanto os custos com investimentos são muito baixos, comparados com os processos de injeção e tambleamento que necessitam de equipamentos mais sofisticados (LEMOS *et al.*, 1999).

#### **2.3.2.2.3 Cura por injeção**

Visando acelerar a difusão dos ingredientes de cura na carne, nas condições ordinárias, é feita a injeção, sob pressão, através de agulha única ou múltipla. A injeção é realizada em balanças de percentagem para controle da proporção de salmoura injetada ou, no caso de peças íntegras, como pernis e paletas, através da via arterial, esta via mais rápida e de distribuição mais eficiente, é feita sob pressão de 1 atm. A salmoura bombeada distribui-se nos espaços entre as fibras musculares e, por difusão penetra em seu interior (PARDI *et al.*, 1995).

A proporção de salmoura a ser injetada varia de 5 a 15%. Comumente são injetados 10% em pernis destinados ao preparo de presuntos. Quando a injeção é intramuscular, deve-se observar a maior ou menor resistência à distribuição da salmoura, no caso do corte da carne ser consistente, de 6 a 8% da salmoura injetada é fixada no pernil. Para matéria-prima gordurosa este teor pode chegar a 10%. Esta condição é devida à capacidade de distensão de cada corte (LAWRIE, 1985).

#### 2.3.2.2.4 Cura por tambleamento e imersão

Outro método acelerador da cura é o processo de tambleamento, que consiste numa movimentação violenta das peças de carne em tambores giratórios apropriados, conhecido pela expressão inglesa *tumbling*. Este processo traz como resultado à saída de proteínas solúveis em sal, principalmente a actomiosina, formando um exsudado da proteína e o aumento da capacidade de retenção da água, devido ao rompimento da estrutura do tecido muscular, esta alteração na estrutura, juntamente com os ingredientes de cura permite a aceleração da penetração destes na carne, além de promover maior maciez. Estas funções são suplementadas se à ação mecânica for adicionado vácuo (JUDGE *et al.*,1989; DZUDIE e OKUBANJO, 1999; PIETRASIK e SHAND, 2003; HULLBERG e LUNDSTRÖM, 2004). A Figura 2 ilustra o desenho de um tumbler usado freqüentemente nos processos, onde está mostrada a presença de chicanas em seu interior, estas têm a função de massagear a carne e aumentar a incorporação da salmoura na mesma durante o tambleamento.

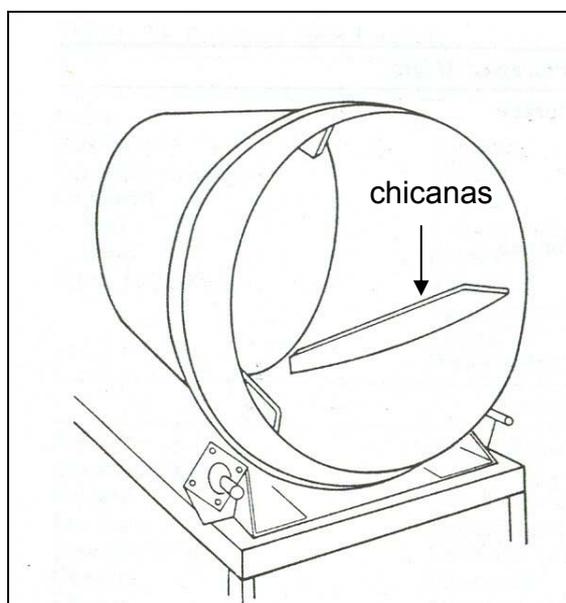


Figura 2 - Tumbler experimental - fonte: JUDGE *et al.*,1989.

De acordo com Chen (1982), o processo de cura por imersão aumenta o rendimento de partes de frango cozidas. Entretanto, longos tempos de tambleamento resultam em grande absorção de salmoura quando comparado com a cura apenas por imersão. Em estudos prévios, verificou um ganho de peso de 12% em 8 horas de processo de imersão que aumentou para 18% quando utilizado 10 minutos de tambleamento. A taxa de absorção foi maior nas primeiras 4 horas de imersão, diminuindo gradualmente até estabilizar. De acordo com este autor, a variação da penetração de salmoura nas diferentes partes do frango foi menor para a cura por imersão do que quando utilizado também o tambleamento. Cunningham *et al.* (1988) observaram que quando utilizaram o tambleamento para peito de peru a absorção de salmoura foi maior do que quando utilizaram apenas a cura por imersão.

### **2.3.2.3 Cinética de cura**

Os diferentes métodos de incorporação de ingredientes de cura apresentados anteriormente apresentam uma etapa comum, na qual a matéria-prima é colocada em soluções contendo agentes osmóticos (sal, açúcares, fosfatos, ácidos, etc). Esta operação unitária é denominada de tratamento osmótico (COLLIGNAN *et al.*, 2001). Este tratamento pode ser dividido em dois processos distintos, a desidratação osmótica e a hidratação osmótica. A desidratação osmótica é um processo de remoção de água, que se baseia em manter os alimentos dentro de soluções concentradas de sólidos solúveis, podendo variar de 9 a 30% de cloreto de sódio, havendo uma alta pressão osmótica e baixa atividade de água (KAYMAK-ERTEKIN e SULTANOGLU, 2000). A hidratação osmótica é um processo onde se busca a incorporação de água nos alimentos, estes são mantidos dentro de soluções pouco concentradas de agentes osmóticos e a concentração de cloreto de sódio não deve ultrapassar 6% (LEMOS

*et al.*, 1998). Estes agentes auxiliam na incorporação de água pelo alimento, além de atribuir características sensoriais de sabor e textura desejadas.

Muitos estudos têm sido publicados sobre o efeito das concentrações de soluto, da temperatura e do tempo de cura no processo de desidratação osmótica e difusividades de sal em carne de jacaré (TELIS *et al.*, 2003), em carne de suíno (POLIGNÉ *et al.*, 2002; OLMOS *et al.*, 2004), em carne bovina (CHIRALT *et al.*, 2001; DJELVEH *et al.*, 2001) e em pescados (TEIXEIRA e TOBINAGA, 1998; WANG *et al.*, 2000; CHIRALT *et al.*, 2001). Porém, poucos estudos apresentam o processo de hidratação osmótico, também conhecido como processo de cura ou marinamento. Sobre cinética de cura e determinação de coeficientes de difusividade para carne de frango marinada não foi encontrado nenhum registro na literatura.

Algumas abordagens têm sido propostas para explicar as taxas de transferência de massa durante o processo osmótico. Uma delas é a solução analítica da segunda lei de Fick para difusão em sólidos de diferentes geometrias, admitindo a estimação do coeficiente de difusão para água e para solutos (LAZARIDES *et al.*, 1997; DJELVEH *et al.*, 2001; TELIS *et al.*, 2003). Azuara *et al.* (1998) propuseram um modelo cinético de dois parâmetros, baseado no balanço de massa, que foi usado para estimar os coeficientes de transferência de massa e o ponto de equilíbrio final. Este modelo foi capaz de prever a perda de água e ganho de sólidos nas condições de equilíbrio através dos dados experimentais obtidos durante um relativo curto espaço de tempo. Marcotte *et al.* (1991) desenvolveram um modelo baseado na descrição termodinâmica das forças envolvidas no processo osmótico. Entretanto, este modelo depende de um grande número de propriedades biofísicas, como módulo de elasticidade da parede celular, a permeabilidade da membrana celular, entre outros, que são propriedades muito difíceis de determinar experimentalmente ou de encontrar na literatura dados para alimentos.

O fisiologista Adolph Fick em 1855, foi um dos primeiros a estudar o processo de difusão através de membranas biológicas. Em analogia com o fluxo de calor entre dois corpos a temperaturas diferentes, Fick propôs que o fluxo (JS)

do soluto (S) é proporcional ao gradiente de concentração, conforme mostra a Equação (1):

$$JS = -D * \frac{\partial[S]}{\partial x} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde D é o coeficiente de difusão; JS representa o “fluxo” de soluto que passa através de uma superfície de área unitária por unidade de tempo. O sinal negativo na Lei de Fick indica que o fluxo se dá de uma região de alta concentração para uma de baixa concentração.

Crank (1975) propôs uma solução analítica para a Lei de Fick, considerando a distribuição de umidade inicial uniforme e ausência de qualquer resistência térmica para uma placa plana infinita (Equação 2):

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde X corresponde ao conteúdo de umidade no tempo t;  $X_0$  corresponde ao valor inicial desta variável, e  $X_{eq}$  corresponde ao valor no equilíbrio; D representa o coeficiente de difusão e L a espessura da matéria-prima utilizada.

Telis *et al.* (2004), baseando-se na solução analítica da segunda lei de Fick para transferência de solutos durante a desidratação osmótica, utilizaram uma forma modificada da Equação (2) para avaliar os coeficientes de difusão efetiva de solutos em tomates durante o tratamento osmótico utilizando soluções ternárias de sacarose, cloreto de sódio e água, a diferentes concentrações, (Equação (3)).

$$\frac{C_0 - C}{C_0 - C_{eq}} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde C corresponde à concentração de cloreto de sódio a um tempo t; C<sub>0</sub> o valor inicial desta variável, e C<sub>eq</sub> o valor de equilíbrio. D representa o coeficiente de difusão e L a espessura da matéria-prima.

Outro modelo para determinação da cinética de desidratação osmótica de alimentos foi aplicado por Corzo e Bracho (2005). Estes pesquisadores estudaram a cinética de desidratação osmótica para sardinha filetada utilizando o modelo de Zugarramurdi e Lupín proposto em 1980 para estudar a salga de peixe. Este modelo utiliza uma aproximação exponencial dos valores de equilíbrio para observar o comportamento dos parâmetros de concentração de sal, concentração de umidade, e conseqüentemente da mudança de peso.

A Equação (4) apresenta o modelo matemático, com aproximação exponencial para os valores de equilíbrio das concentrações de sal e água, proposto por Zugarramurdi e Lupín:

$$\frac{dX_i}{dt} = k_i (X_i^* - X_i) \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$$X_i = \frac{\text{massa de } i \text{ a um dado momento}}{\text{massa total} - \text{massa de água} - \text{massa de sal}} \quad \text{Equação (5)}$$

$$X_i^* = \frac{\text{massa de } i \text{ no equilíbrio}}{\text{massa total} - \text{massa de água} - \text{massa de sal}} \quad \text{Equação (6)}$$

k<sub>i</sub> = constante de taxa específica para variação de i.

Na literatura há poucas informações sobre a aplicação do modelo de Zugarramundi e Lupín em processos de desidratação osmótica. O modelo mais utilizado para estudar a cinética de desidratação osmótica em alimentos foi o da segunda lei de Fick.

### 2.3.3 Processo de cozimento

Na indústria de carne de aves, o crescimento na porção de produtos inteiramente cozidos está aumentando rapidamente no total das vendas, indicando um aumento de 80% nos lucros dessas indústrias em 2005 com a venda de produtos pré-cozidos e refrigerados. Portanto, o processo térmico é muito importante, pois determinam segurança e qualidade aos produtos no varejo, sendo um importante fator econômico para indústria (CHEN *et al.*, 1999).

O processo de cozimento é a principal operação unitária que envolve produtos industrializados de frango totalmente cozidos. O cozimento pode ser realizado em fornos de injeção direta ou indireta de vapor, radiação, microondas, etc., e a compreensão dos mecanismos de atuação do calor sobre o produto são pontos de grande importância para a seleção do melhor programa de cozimento, que deve atender às condições de segurança alimentar e ao mesmo tempo gerar um rendimento tal que a produção seja vantajosa para a indústria (LEONHARDT *et al.*, 2004).

Pearson e Gillett (1996) mencionaram que o forno de injeção direta de vapor, tipo *impingement*, tem como característica principal os altos valores de coeficiente de película na transferência de calor quando comparados com fornos tradicionais de fluxo de ar estático ou os aquecidos por radiação.

O cozimento tem os seguintes efeitos na carne e produtos cárneos: (1) desnaturam as proteínas da carne, alterando sua solubilidade e afetando mudanças de coloração; (2) melhoram a palatabilidade da carne pela intensificação do sabor e alterando a textura; (3) destroem significativamente o

número de microrganismos, aumentando a vida de prateleira dos produtos cárneos; (4) inativam enzimas proteolíticas na carne prevenindo o aparecimento de sabores desagradáveis; (5) estabilizam a cor vermelha em carnes curadas (KRAMLICH *et al.*; 1973).

No processo de cozimento uma grande quantidade de fluidos é expelida do tecido da carne, devido à mudança de temperatura durante o aquecimento induzindo ao encolhimento da estrutura da carne (HULLBERG e LUNDSTRÖM, 2004).

## 2.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Planejamento experimental, ou fatorial, é um conjunto de técnicas freqüentemente utilizado em estudos de processos para investigações qualitativas ou quantitativas, explorando os efeitos e relações de variáveis de entrada (parâmetros) sobre variáveis de saída (respostas). Este processo pode atingir diferentes áreas, como a engenharia química, biotecnologia, pesquisas na área agrícola, melhoria de processos industriais novos e antigos, bem como em processos que utilização simulação computacional (BOX *et al.*, 1978; KHURI e CHORNELL, 1987; KALIL *et al.*, 2000).

Por meio do planejamento experimental, a análise de um determinado processo é realizada utilizando-se um número menor de experimentos quando comparado às metodologias convencionais, permitindo a investigação do processo em uma faixa ampla de variação, com redução de tempo e custos.

Um dos métodos de avaliação do planejamento experimental é a análise e otimização através de superfícies de resposta. Obtêm-se, assim, relações empíricas entre uma ou mais respostas de interesse, que são medidas analíticas, e um determinado número de fatores, que são controlados e influenciam a resposta do processo. Desta forma, este estudo permite que se verifique, quantifique e otimize esta influência, sendo possível a obtenção das melhores

condições para realização de determinado processo e/ou para a obtenção de um produto com as características desejadas (BARROS NETO *et al.*, 1995).

Para se aplicar o método de análise de superfície de resposta é necessário primeiramente programar ensaios através de um planejamento experimental. Esse método consiste na seleção de um número fixo de níveis para cada um dos fatores ou variáveis de entrada e então executar experimentos com todas as combinações possíveis. Como primeira etapa, é usual um planejamento fatorial com dois níveis (nível -1 e nível +1) para cada variável. Assim, para “s” variáveis envolvidas no estudo, o número de experimentos que deve ser realizado para investigar todas as combinações possíveis é igual a  $2^s$  (BOX *et al.*, 1978).

De posse dos resultados obtidos no planejamento é possível calcular os efeitos principais e de interação das variáveis sobre as respostas, especificar os efeitos mais significativos e ajustar empiricamente um modelo linear, ou de primeira ordem, que correlaciona as variáveis de entrada e as respostas.

## 2.5 ANÁLISE SENSORIAL

As características sensoriais são percebidas pelos órgãos dos sentidos, dos quais a visão, gustação, o olfato e o tato têm papel importante na avaliação qualitativa dos alimentos. A cor se torna importante no momento da compra, permitindo apreciar o aspecto e a cor, a união do gosto e odor durante a mastigação, propiciam o sabor, o tato relaciona-se com a *kinesia*, percepção que permite avaliar a textura dos alimentos na boca, em especial a maciez e a suculência (MEILGAARD *et al.*, 1999).

Existem dois grandes grupos de métodos de medida das características sensoriais da carne: instrumentais e sensoriais. Os métodos instrumentais envolvem a utilização de métodos mecânicos, óticos, entre outros, permitindo resultados mensuráveis de forma objetiva através de diversas unidades de

medida. Por outro lado, nos métodos sensoriais o instrumento de medida empregado é o homem, possível consumidor, que avalia subjetivamente a carne utilizando seus órgãos dos sentidos, cujos resultados podem ser expressos objetivamente através de pontuação (RESURRECCION, 2003).

A carne crua tem um sabor leve e contém substâncias que reagem ou se decompõem durante a maturação para produzir o aroma que se desenvolve durante o cozimento e seus diferentes modos de cozimento conduzem a distintos sabores. Os precursores presentes no músculo dão origem ao sabor, enquanto os presentes na gordura conferem o aroma específico de cada espécie (ALDEA, 1995).

### **2.5.1 Teste de comparação múltipla**

Os testes de comparação múltipla são testes discriminativos, ou seja, indicam diferenças entre estímulos. Estes testes envolvem a comparação de mais de três amostras. Podem ser aplicados como testes de diferença verdadeira, onde o provador classifica as amostras dentro de dois grupos semelhantes, ou como testes de diferenças, na qual o provador é requisitado para identificar os grupos de maior ou menor intensidade de um atributo pré-estabelecido. Ao degustador apresenta-se uma amostra padrão, que pode ser uma formulação ou marca tradicional, e várias codificadas, deve avaliar cada amostra comparando com o padrão. Pode-se utilizar, para avaliação, uma escala crescente ou decrescente de qualidade. Uma escala crescente apresenta os seguintes valores:

- 1 – extremamente inferior ao padrão;
- 4 a 5 – igual ao padrão;
- 9 – extremamente melhor que o padrão.

Este teste não é recomendado para um número muito grande de amostras, pois pode ocasionar fadiga sensorial. Para a avaliação apenas visual é amplamente recomendado. Serve também como indicativo de até que concentração de um determinado componente pode-se adicionar a um produto, sem que ocorram mudanças significativas das suas propriedades sensoriais (GATCHALIAN, 1981).

### CAPÍTULO III - MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as metodologias utilizadas na condução dos experimentos para determinação e redução das perdas durante o processamento e perda de peso no cozimento, bem como para a realização das análises físico-químicas, sensoriais e estatísticas utilizadas.

Inicialmente foram realizados testes preliminares para adequação das variáveis de processo a serem utilizadas, possibilitando o ajuste das condições de equalização, tambleamento, cura e cozimento. Com a realização destes testes e com os dados disponíveis na literatura (LEMOS *et al.*, 1999, LEONHARDT *et al.*, 2004) foi possível definir os níveis das variáveis de processo, como tempo de maturação, quantidade de salmoura, tempo de tambleamento e tempo de cura, e estabelecer a metodologia operacional utilizada durante os tratamentos.

Foram realizados testes para determinar a cinética de cura. Para isto delineou-se um planejamento experimental com o objetivo de selecionar as melhores condições de cura. As variáveis estudadas foram as concentrações de sal, fosfato, e dextrose, além da variação da temperatura de cura, em três níveis.

A seguir, para verificar a influência dos parâmetros de processo na perda de peso no cozimento, foram realizados experimentos seguindo um planejamento experimental onde os parâmetros previamente definidos foram variados em dois níveis.

Paralelamente, foram conduzidos experimentos para verificar as perdas no processo de estiramento. O processo de estiramento tem como objetivo padronizar a espessura do peito de frango. O equipamento utilizado é constituído de duas esteiras corrugadas dispostas na forma de um cilindro com comprimento de 80 cm, onde uma placa de teflon exerce uma força sobre as esteiras do equipamento para comprimir as peças de peito de frango. Foi verificado o rendimento no cozimento em função do tipo de esteira utilizada no estiramento e da posição dos peitos de frango na entrada desta. Após o estiramento, os produtos apresentam espessura final de 12 mm ou 25 mm.

Também foi avaliado o rendimento no cozimento em função da posição dos peitos de frango na entrada do forno.

Foram realizados experimentos para determinar a influência da altura de empilhamento das peças nos contentores na perda de salmoura durante o processo de cura.

### **3.1 MATÉRIA-PRIMA**

Para realização dos experimentos de adequação das variáveis do processo, como, tempo de maturação, quantidade de salmoura utilizada em relação à matéria-prima e tempo de cura, e para os experimentos de avaliação das perdas no estiramento e cozimento, além da avaliação da altura de empilhamento das peças na cura, a matéria-prima foi coletada diretamente em uma linha de processamento industrial e, quando necessário, foi armazenada em câmara fria com variação de temperatura entre 0 e 5°C. Para realização dos experimentos de cinética de cura, a matéria-prima foi obtida resfriada em rede de supermercados, mantidas sob resfriamento por até quatro dias. Os produtos estudados em função dos experimentos estão indicados na Tabela 4.

Tabela 4 - Experimentos realizados e matérias-primas utilizadas.

Matéria-prima	Experimentos realizados
	- Avaliação da perda de peso no cozimento - Testes preliminares;
Peito de frango cortado em partes	- Avaliação da perda de peso no cozimento – Planejamento experimental. - Influência da altura de empilhamento na perda de salmoura durante a cura.
Peito de frango inteiro	- Avaliação da perda de peso no cozimento - Testes preliminares; - Avaliação do rendimento em função do posicionamento dos peitos na entrada do forno; - Avaliação da cinética de cura.
Peito de frango para cubos 12 e 25 mm	- Influência da disposição das peças na esteira e do estiramento na perda de peso durante o processo e no cozimento.

## 3.2 METODOLOGIA OPERACIONAL

### 3.2.1 Equalização da matéria-prima

Foi avaliado o efeito do tempo de maturação na maciez da matéria-prima, através de análise sensorial, e na perda de água durante o processo de cozimento. A matéria-prima foi coletada diretamente da linha de processamento de frango industrializado imediatamente após a desossa e seguiram o processo, ou foram coletadas e armazenadas em câmara de resfriamento com temperatura variando entre 0 e 5°C por 24 h, para ocorrer o processo de equalização da matéria-prima.

### **3.2.2 Processo de tambleamento**

As matérias-primas foram identificadas e pesadas em balança semi-analítica com precisão de 0,01g, adicionadas ao tambler experimental de aço inox, com capacidade de 88,0 litros, confeccionado pela Frigomaq, com controle de vácuo, tempo e rotação. Juntamente com a matéria-prima, foram acrescentadas as salmouras compostas de água, sal e dextrose, ou de água, sal e fosfato. As condições de tambleamento variaram em função da matéria-prima, assim como as concentrações dos constituintes das salmouras utilizadas.

### **3.2.3 Processo de cura**

Depois de decorrido o tambleamento, as matérias-primas foram mantidas em uma câmara de resfriamento com temperatura controlada de 5°C para ocorrer o processo de cura, cujo tempo variou em função dos diferentes experimentos.

### **3.2.4 Processo de cozimento**

Após a cura, as matérias-primas foram pesadas e cozidas em forno industrial Stein Humitrol II, com injeção direta de vapor operando à temperatura de 98°C até que as peças atingissem temperatura interna de 80°C.

As temperaturas foram monitoradas através de "Data logger" DATAPAQ, modelo Multipaq TP0010, com faixa de medida de -190 a 400°C, intervalo de amostragem de 2 min. a 1 h, resolução de 0,1°C e precisão de 0,5°C. As curvas, indicando os perfis de temperatura foram obtidas com auxílio do programa Multi Tracker *for Windows*.

Após o cozimento, o produto foi imediatamente congelado utilizando-se o girofreezer GYROCOMPACT, modelo 600 classic, com temperatura de operação de -20°C, com capacidade de 1.000 kg/h.

### **3.3 PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM**

A amostragem foi realizada conforme as normas oficiais do CODEX Alimentarius (1969), onde está definido que para um lote contendo de 4.801 a 24.000 peças, o tamanho da amostra é de 13 peças, sendo que uma peça deve pesar menos que 1 kg.

A partir de uma tambleada de 3.000 kg, que corresponde a aproximadamente 15.000 peitos, foram selecionados 13 peitos para realização dos seguintes experimentos na indústria: avaliação do rendimento no cozimento em função do posicionamento do peito de frango na entrada do forno; influência da disposição do peito de frango no estiramento e avaliação de sua perda no cozimento.

### **3.4 TESTES PRELIMINARES**

Para realização dos testes preliminares foram utilizados dois tipos de matéria-prima, peito de frango cortado em partes e peito de frango inteiro. A salmoura utilizada para os testes com peito de frango cortado em partes foi constituída de água, de cloreto de sódio e de dextrose. A salmoura utilizada para os testes com peito de frango inteiro foi constituída de água, de cloreto de sódio e de fosfato. As quantidades de salmoura utilizadas e tempos de cura para filé de peito de frango cortado em partes são mostrados na Tabela 5. Nestes

experimentos a rotação utilizada no tambleamento e o tempo de processo foram fixados em 9 rpm e 40 min, respectivamente.

Tabela 5 - Quantidade de salmoura em relação a matéria-prima e tempo de cura para os testes preliminares utilizando como matéria-prima peito de frango cortado em partes.

Experimento	Quantidade de salmoura em relação a matéria-prima (%)	Tempo de cura (h)
1	15	9
2	12	9
3	15	2

Na Tabela 6 estão indicadas as quantidades das salmouras utilizadas, juntamente com os tempos de tambleamento e cura para peito de frango inteiro. A rotação no tambleamento foi fixada em 12 rpm. Estes experimentos foram realizados em duplicata.

Tabela 6 - Quantidade de salmoura em relação a matéria-prima e tempo de cura para os testes preliminares utilizando como matéria-prima peito de frango inteiro.

Experimento	Quantidade de salmoura em relação a matéria-prima (%)	Tempo de tambler (h)	Tempo de cura (h)
1	30	2	0
2	25	2	0
3	25	1:40	3
4	30	2	7
5	30	2	17

### 3.5 CINÉTICA DE CURA

Foram delineados experimentos com o objetivo de avaliar os efeitos de concentração de sal, fosfato e dextrose, e temperatura de cura na absorção de salmoura, capacidade de retenção de água e perda de peso no cozimento. As amostras de peito de frango foram obtidas em um supermercado local, e para cada experimento foram utilizadas amostras de 500 g. As variáveis foram estudadas em dois níveis com ponto central, resultando no total de 20 experimentos. A matriz do planejamento experimental com a identificação dos níveis das variáveis está apresentada na Tabela 7, esta foi obtida com auxílio do *software* STATISTICA versão 6.0. A escolha dos níveis das variáveis, concentração de cloreto de sódio e concentração de fosfato foram baseadas no trabalho de Lemos *et al.* (1999) que recomenda a utilização de concentrações de sal de 3 a 4% e de fosfato de 2 a 3% para peito de frango. Foi verificada a influência da adição de dextrose no ganho de peso na cura e perda de peso no cozimento para peito de frango.

O tempo de cura foi fixado em 16 h, este tempo foi baseado no trabalho de Lemos *et al.* (1999), que utilizou tempo total de cura de 12 h, encontrando valores ótimos de ganho de salmoura e perda no cozimento, portanto utilizou-se um tempo acima de 12 h. A proporção entre carne e salmoura foi de 1:1, trabalho realizado por Telis *et al.* (2003), que estudou a influência da razão salmoura:carne na penetração de salmoura, verificou que esta razão entre o volume de salmoura e carne apresenta um baixo efeito no ganho de salmoura.

Nestes experimentos, o cozimento dos peitos de frango foi realizado em forno doméstico Fischer Elétrico Grill com capacidade para 44 L. A temperatura interna dos peitos de frango foi monitorada com auxílio de um termômetro digital tipo agulha.

Tabela 7 - Matriz do planejamento experimental com a identificação dos níveis das variáveis para os tratamentos de peito de frango.

Tratamento	Concentração de NaCl (%)	Concentração de fosfato (%)	Concentração de dextrose (%)	Temperatura de cura (°C)
1	2	1	0	5
2	6	1	0	5
3	2	3	0	5
4	6	3	0	5
5	2	1	4	5
6	6	1	4	5
7	2	3	4	5
8	6	3	4	5
9	2	1	0	15
10	6	1	0	15
11	2	3	0	15
12	6	3	0	15
13	2	1	4	15
14	6	1	4	15
15	2	3	4	15
16	6	3	4	15
17	4	2	2	10
18	4	2	2	10
19	4	2	2	10
20	4	2	2	10

A partir das melhores condições de processo obtidas pelo planejamento experimental foram realizados experimentos para estabelecer um modelo matemático da cinética de cura. Nestes experimentos foram coletadas amostras em tempos pré-determinados de 0, 0,33, 1, 2, 4, 8, 15, 25, 45 e 60 h de cura. O tempo total de cura foi baseado em trabalho de Telis *et al.* (2003), que estudaram a cinética de salga e difusividades de sal em carne de jacaré do Pantanal Mato-Grossense, para obter a concentração de equilíbrio. Foram realizadas medidas de

espessura dos peitos de frango *in natura* e nos diferentes intervalos de tempo de cura, para possível determinação das taxas de difusividade do cloreto de sódio nos peitos de frango. Com este mesmo propósito foram determinadas as concentrações de cloreto de sódio e umidade nos intervalos de tempo estudados.

### 3.5.1 Procedimento matemático e análise estatística

Para estudar as taxas de penetração de cloreto de sódio na carne de peito de frango, fez-se o uso da Teoria Difusional, a qual se baseia na equação da difusão líquida (Segunda Lei de Fick), onde o fluxo de massa é proporcional ao gradiente de concentração dentro do sólido. Crank (1975) propôs uma solução analítica para a Lei de Fick, considerando distribuição de umidade inicial uniforme e ausência de qualquer resistência térmica para uma placa plana infinita (Equação (2)):

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde X corresponde ao conteúdo de umidade em g/100g no tempo t, dado em segundos.  $X_0$  corresponde ao valor inicial desta variável, e  $X_{eq}$  corresponde ao valor no equilíbrio. D representa o coeficiente de difusão e é dado em  $m^2/s$  e L a espessura da matéria-prima, dada em metros.

As taxas de ganho de cloreto de sódio no peito de frango durante o tratamento osmótico, foram determinadas pela Equação (3), uma forma modificada da Equação (2), conforme proposto por Telis *et al.* (2004):

$$\frac{C_0 - C}{C_0 - C_{eq}} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde C corresponde à concentração de cloreto de sódio dada em g/100g, a um tempo t dado em segundos.  $C_0$  o valor inicial desta variável, e  $C_{eq}$  o valor de equilíbrio. D representa o coeficiente de difusão que será expresso em  $m^2/s$  e L a espessura da matéria-prima em metros.

Para realização dos cálculos das taxas de difusão e para determinação das concentrações de cloreto de sódio foi considerada a espessura total da amostra de peitos de frango inteiros.

A Equação (3) foi ajustada aos dados experimentais usando os primeiros seis termos da série e o coeficiente de difusão foi calculado com auxílio do *software* MATLAB R12 versão 6.0. A adequação do modelo foi avaliada pelo erro médio quadrático (MSE). Quanto menor o valor de MSE (Equação (7)) melhor é o ajuste da curva ao modelo.

$$MSE = \frac{\sum (\text{Valor}_{\text{predito}} - \text{Valor}_{\text{observado}})^2}{n} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde n é o número de valores experimentais.

### 3.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

No planejamento experimental foram estudados os efeitos de três parâmetros de processo, tempo de equalização da matéria-prima, quantidade de salmoura em relação à quantidade de matéria-prima utilizada e tempo de cura, em dois níveis, conforme mostrado na Tabela 8, resultando no total de 8 experimentos. A matriz do planejamento experimental foi obtida com auxílio do *software* STATISTICA versão 6.0.

Tabela 8 - Matriz do planejamento experimental com a identificação dos níveis das variáveis para os tratamentos de peito de frango cortado em partes.

Tratamento	Tempo de maturação (h)	Quantidade de salmoura (%)	Tempo de cura (h)
1	24	15	7
2	24	15	2
3	24	12	7
4	24	12	2
5	0	15	7
6	0	15	2
7	0	12	7
8	0	12	2

Depois de definidas as melhores condições de processo que resultaram em menor perda de peso no cozimento, realizaram-se experimentos em escala industrial onde o único parâmetro implantado, em função dos resultados obtidos e da facilidade de implementação, foi a utilização de 12% de salmoura em relação à matéria-prima, ao invés de 15% de salmoura. Estes experimentos foram realizados utilizando como matéria-prima peito de frango inteiro que seriam cortados em cubos de 12 mm após o cozimento, os peitos de frango foram adicionados a um tambler industrial com capacidade de 3.000 kg de matéria-prima, juntamente com a salmoura. As condições de operação foram, rotação de

16 rpm por 150 min, e o tempo de cura variou entre 5 e 15 h. As quantificações de perdas no processo de cozimento foram realizadas em triplicata e comparadas com os valores prévios obtidos com o emprego de 25 e 12% de salmoura.

### **3.7 PROCESSO DE ESTIRAMENTO**

Foram realizados experimentos em triplicata para verificar a influência do tipo de esteira utilizada e da posição de entrada dos peitos de frango na estiradeira nas perdas no estiramento e no cozimento, buscando obter menores perdas de salmoura e massa durante o estiramento e reduzir as perdas no cozimento. Verificou-se também a espessura das peças na saída da estiradeira. Para isto, utilizaram-se esteiras corrugadas e lisas e realizaram-se dois tipos de experimentos:

#### Experimento 1:

- simulação das condições reais;
- utilização das duas esteiras corrugadas;
- peças de peito colocadas com a película (pele lisa que recobre o peito), virada para cima, para baixo e com disposição aleatória.

#### Experimento 2:

- simulação da esteira superior lisa;
- peças de peito com a película virada para cima ou virada para baixo e com disposição aleatória.

### 3.8 INFLUÊNCIA DA ALTURA DE EMPILHAMENTO NA PERDA DE SALMOURA DURANTE A CURA

Foram confeccionados tubos de PVC com diferentes alturas, conforme mostrado na Figura 3, com o objetivo de simular o contentor utilizado na indústria onde a matéria-prima sofre o processo de cura, estes contentores têm altura de 65 cm, e o tempo de cura é de até 8 h. Foram testadas alturas menores para verificar a perda de salmoura no processo de cura devido ao peso exercido sobre os peitos de frango que ficam na parte inferior dos contentores. Os tubos com as matérias-primas foram mantidos na câmara de cura durante um período de 8 h, na parte inferior de cada tubo colocou-se uma tela e em baixo destes um recipiente coletor para que a salmoura escoasse. Em intervalos de 2 h, foram realizadas medidas de peso. Após a cura, as matérias-primas foram cozidas para verificar os rendimentos neste processo. Este experimento foi realizado em duplicata.

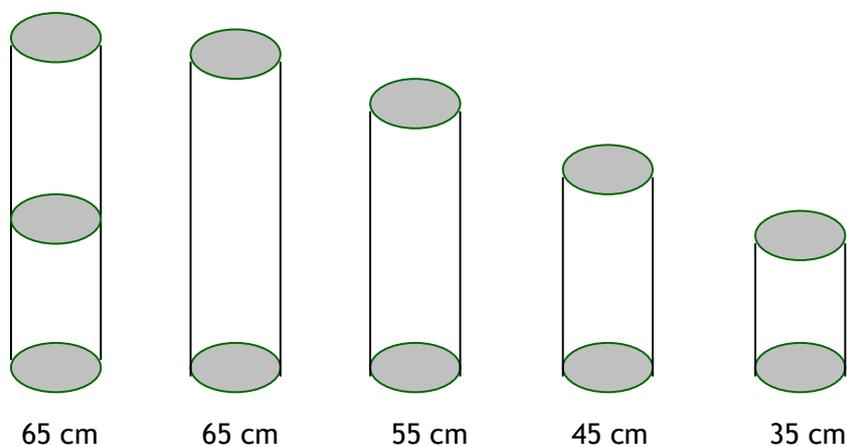


Figura 3 - Desenho esquemático dos tubos utilizados nos ensaios.

### **3.9 RENDIMENTO EM FUNÇÃO DA FORMA DE POSICIONAMENTO DO PEITO DE FRANGO**

Foram realizados experimentos em duplicata para verificar a influência da posição da matéria-prima na entrada do forno de cozimento no rendimento deste processo. As amostras foram pesadas após a cura e colocadas com a película voltada para cima, e em um segundo experimento, com a película voltada para o lado de baixo, na esteira de cozimento. Os peitos foram pesados antes e após o cozimento, e foi determinado o rendimento.

### **3.10 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS**

#### **3.10.1 Determinação de pH**

A determinação de pH foi realizada nas matérias-primas *in natura*, após o processo de cura e após o cozimento. Nas amostras *in natura* e após a cura, o pH foi determinado através de eletrodo de penetração (DENADAI *et al.*, 2002). O pH das matérias-primas após o cozimento foi determinado utilizando-se 10 g de amostra homogeneizada em 90 ml de água destilada (GIL *et al.*, 1999). As análises foram realizadas em duplicata com auxílio de um pHmetro Instrutherm, modelo PH-730, com resolução de 0,001 unidades de pH.

#### **3.10.2 Determinação de umidade**

Utilizou-se a metodologia descrita em AOAC (1990), cujo método fundamenta-se na perda de umidade e substâncias voláteis a 105°C. Foram

pesadas aproximadamente 5 g de amostra em cápsula de alumínio tarada, previamente aquecida em estufa a 105°C por 1 h, resfriada em dessecador até temperatura ambiente e pesada. Posteriormente foi aquecida em estufa a 105°C por 3 h, esfriada em dessecador até temperatura ambiente e pesada. Repetiram-se estas operações de aquecimento e resfriamento em intervalos de meia hora, até peso constante. Estas determinações foram feitas em duplicata.

### **3.10.3 Determinação de proteínas**

A determinação de proteínas foi realizada conforme descrito em AOAC (1990), utilizando o método de Kjeldahl, que baseia-se na determinação do nitrogênio total.

### **3.10.4 Determinação de lipídios**

Para determinação de lipídios foi utilizado o método proposto pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985) através do método de Soxhlet, onde o solvente orgânico extrai os lipídios que são quantificados através da pesagem do resíduo após a eliminação daquele solvente. Este resíduo é constituído principalmente por gordura, porém engloba outros componentes que, nas condições da determinação, podem ser extraídos pelo solvente.

### **3.10.5 Determinação de NaCl**

A determinação de NaCl foi realizada conforme descrito em BRASIL (1999) que indica o método de Mohr, este método fundamenta-se na precipitação dos

cloretos sob a forma de cloreto de prata, em pH 8,3, em presença de cromato de potássio como indicador. O final da reação é dado pela formação do precipitado vermelho-tijolo de cromato de potássio.

### 3.11 GANHO DE PESO NO PROCESSO DE CURA

Foram pesadas as matérias-primas *in natura* e depois de decorrido o tempo de cura pré-estabelecido, as matérias-primas foram removidas da salmoura, escurridas e retirado o excesso com papel absorvente, a retenção de salmoura foi determinada, e os resultados expressos como a porcentagem de ganho de peso, conforme descrito por Lemos *et al.* (1999). Esta determinação foi realizada apenas para os experimentos de cinética de cura.

$$\%GP = \frac{(g)\text{amostra inicial} - (g)\text{amostra após cura}}{(g)\text{amostra após cura}} * 100 \quad \text{Equação (8)}$$

Onde GP significa ganho de peso.

### 3.12 PERDA DE PESO NO COZIMENTO

Pesaram-se as matérias-primas antes do cozimento. Após o cozimento as mesmas foram resfriadas em temperatura ambiente e novamente pesadas. O rendimento dos filés foi calculado a partir da diferença entre a massa das amostras na entrada e na saída do forno e expressas em porcentagem, conforme proposto por Hongsprabhas e Barbut (1999), através da Equação (9):

$$\%PC = \frac{(\text{g}) \text{ água perdida durante o cozimento}}{(\text{g}) \text{ amostra antes do cozimento}} * 100 \quad \text{Equação (9)}$$

Onde PC significa perda no cozimento.

### **3.13 DETERMINAÇÃO DOS RENDIMENTOS**

Foram calculados dois tipos de rendimentos, o rendimento de processo, que será chamado apenas de rendimento, e o rendimento proporcional. O rendimento de processo foi calculado baseando-se na perda de peso no cozimento, ou seja, para uma perda no cozimento de 20%, o rendimento de processo será de 80%. O rendimento proporcional foi calculado levando em consideração a comparação entre duas condições distintas.

### **3.14 ANÁLISE SENSORIAL**

#### **3.14.1 Teste de comparação múltipla**

O teste de comparação múltipla foi realizado utilizando-se uma escala crescente de qualidade para verificar se havia diferença significativa entre os tratamentos resultantes do planejamento experimental, comparando com um padrão, a Figura 4 mostra a ficha de avaliação utilizada. As amostras foram servidas em copos plásticos, com quantidades padronizadas (25 g), e codificadas com 3 dígitos, obtidos de uma tabela de números aleatórios e a amostra padrão foi identificada com a letra P. Solicitou-se que os julgadores avaliassem se havia diferença entre as amostras e o padrão para os atributos de cor, odor, sabor e textura. Foi fornecida água para limpeza do palato entre as avaliações das

amostras (GATCHALIAN, 1981). Os resultados referentes às amostras de peito de frango cortado em partes, para os 8 experimentos que representam os diferentes tratamentos utilizados, conforme níveis estabelecidos na Tabela 7, foram tratados estatisticamente pela análise de variância, empregando-se o *software* STATISTICA versão 6.0.

Nome:.....Data:.....

Prove cuidadosamente cada uma das amostras apresentadas e compare se é melhor, igual ou inferior que a amostra padrão (P) em relação aos atributos de cor, odor, textura e sabor, avaliando conforme a escala abaixo.

Legenda:  
 1 – Extremamente inferior a P      5 – igual a P      9 – Extremamente melhor a P

Amostra	Cor	Odor	Textura	Sabor

Figura 4 - Ficha de avaliação utilizada no teste de comparação múltipla.

## CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ESTUDO DA CINÉTICA DE CURA PARA PEITO DE FRANGO (*PECTORALIS MAJOR*) UTILIZANDO SOLUÇÕES QUATERNÁRIAS

Foram realizados experimentos para avaliar a cinética de cura para peito de frango. Nesta etapa, foram determinadas as taxas de difusão de cloreto de sódio em peito de frango. A determinação destas taxas em peito de frango é importante, pois permite a determinação do tempo de processo de cura necessário, levando em consideração a concentração de sal final e a distribuição dentro do produto.

Primeiramente, foram realizados experimentos seguindo um planejamento experimental, onde foram variadas as concentrações de cloreto de sódio, fosfato e dextrose, e as temperaturas de cura. Esta etapa serviu para determinar as melhores condições de cura, que foi estabelecida pelas maiores incorporações de salmoura na cura e menores perdas no cozimento. A partir dos resultados dos testes preliminares, adotaram-se as condições para estudo da cinética de cura.

Nos resultados preliminares estão apresentadas as superfícies de resposta obtidas, onde foram relacionadas as variáveis que apresentaram maior efeito no ganho de peso na cura e na perda de peso no cozimento. As demais superfícies estão apresentadas em anexo (Anexo I – Figuras 8 - 16).

Para os testes preliminares foram realizadas análises de pH dos peitos de frango *in natura* e após a cura, e pH das salmouras utilizadas, também foi realizada análise de umidade dos peitos de frango para os diferentes tratamentos (Anexo II – Tabela 17).

Para os experimentos de cinética de cura foram determinadas as absorções de salmoura nos diferentes intervalos de tempo estudados, foi determinada a espessura inicial e final dos peitos de frango, a densidade das salmouras utilizadas, dos peitos de frango *in natura* e após o tempo de cura determinado.

Foram ainda realizadas análises de umidade e cloreto de sódio (Anexo III – Tabelas 18-21).

Os resultados de cinética de cura para peito de frango estão apresentados a seguir, na forma de artigo.

## Cinética da difusão de cloreto de sódio em peito frango (*Pectoralis major*) durante o processo de cura

**G. Volpato, E. M. Z. Michielin, S. R. S. Ferreira, J. C. C. Petrus\***

*EQA – CTC/UFSC Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos – Centro Tecnológico/  
Universidade Federal de Santa Catarina. Caixa Postal 476, CEP 88040-900. Florianópolis, SC, Brasil.*

*Fone: 0 55 48 331 9448 - FAX: 0 55 48 331 9687*

\*Autor para correspondência - E-mail: giandra@enq.ufsc.br

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de difusão de cloreto de sódio em peito de frango durante o processo de cura. Através de planejamento experimental, foram realizados testes para otimização das variáveis concentrações de cloreto de sódio, fosfato e dextrose, e temperatura de cura, que resultassem em maiores ganhos de salmoura na cura e menores perdas no cozimento. As concentrações dos ingredientes de cura utilizadas foram: 2%, 4%, 6% de cloreto de sódio; 1%, 2%, 3% de fosfato, 0%, 2%, 4% de dextrose e temperaturas de 5°C, 10°C e 15°C. Os experimentos foram realizados com relação salmoura/carne de 1:1, tempo de cura de 16 h. As maiores absorções de salmoura (14,32% e 15,27%) e menores perdas de peso no cozimento (16,58% e 15,98%), foram obtidas utilizando-se concentrações de cloreto de sódio de 2% e de 6%, respectivamente, com concentrações de fosfato de 3%, dextrose de 4% e temperatura de cura de 5°C. Em função dos resultados dos testes de otimização e da avaliação do efeito sinérgico entre as variáveis, foram delineadas quatro condições para avaliar a cinética de cura para carne de peito. Amostras de produto foram retiradas em diferentes intervalos de tempo. O tempo máximo de cura foi de 60h. A solução analítica da segunda lei de Fick foi utilizada para calcular os coeficientes de difusão efetivos de cloreto de sódio e estimar a quantidade deste sal absorvido pelo peito de frango. Obteve-se boa concordância entre o modelo analítico considerado e os dados experimentais. As difusividades do cloreto de sódio no peito de frango ocorreram na faixa de  $8,99 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $9,55 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ .

*Palavras chave: pectoralis major, cinética da cura, coeficiente de difusão.*

### Sodium chloride diffusion kinetics in chicken breast (*Pectoralis major*) during the curing process

#### Abstract

The objective of this work was to study the kinetics of sodium chloride diffusion in chicken breast during the curing process. Through experimental design, optimizing tests were accomplished to obtain the best concentrations of sodium chloride, phosphate and dextrose, and curing temperature to result in larger brine gains in the curing and smaller losses in the cooking. The concentrations of the curing components used were: 2%, 4%, 6% of sodium chloride; 1%, 2%, 3% of phosphate, 0%, 2%, 4% of dextrose and temperatures of 5°C, 10°C and 15°C. The experiments were carried out with a ratio brine/meat of 1:1 and curing time of 16 h. The largest brine gains (14,32% and 15,27%) and smaller weight losses in the cooking (16,58% and 15,98%), were obtained when used concentrations of sodium chloride of 2% and 6%, respectively, phosphate 3%, dextrose 4% and curing temperature of 5°C. From the results of the optimizing tests and the evaluation of the synergic effect among the variables, four conditions were chosen to assess the curing kinetics for chicken breast. Samples were collected in different time intervals, and the maximum curing time was 60 h. The analytic solution of the second Fick's law was used to calculate the effective diffusion coefficients of sodium chloride and to estimate the amount of salt absorbed by the chicken breast. Good agreement was obtained between the considered analytic model and the experimental data. The diffusivities of sodium chloride in the chicken breast were in the range of  $8,99 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  to  $9,55 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ .

*Keywords: pectoralis major, cure kinetics, diffusion coefficient.*

## 1. Introdução

A produção de carne de frango vem sofrendo um importante crescimento nos últimos tempos, graças aos recentes avanços zootécnicos. Em função do crescimento da demanda, as indústrias de carnes passaram a diversificar os seus produtos visando à agregação de valor e o aumento da vida de prateleira. No processamento, são utilizadas técnicas tradicionais como salga, secagem, cozimento, defumação e marinamento, ou uma combinação destas operações (Collignan et al., 2001).

Estes processos apresentam uma etapa comum na qual a matéria-prima é colocada em soluções contendo agentes osmóticos (sal, açúcares, fosfatos, ácidos, etc). Esta operação unitária é denominada de tratamento osmótico. Este tratamento pode ser dividido em dois processos distintos, a desidratação osmótica e a hidratação osmótica. A desidratação osmótica é um processo de remoção de água, baseado em manter os alimentos dentro de soluções concentradas de sólidos solúveis, havendo uma alta pressão osmótica e baixa atividade de água (Kaymak-Ertekin e Sultanoglu, 2000). A hidratação osmótica é um processo onde se busca a incorporação de água nos alimentos, estes são mantidos dentro de soluções pouco concentradas de agentes osmóticos, onde estes agentes auxiliam na incorporação de água pelo alimento, além de atribuir características sensoriais de sabor e textura desejadas.

Muitos estudos têm sido publicados sobre o efeito das concentrações de soluto, temperatura e tempo de cura no processo de desidratação osmótica e difusividades de sal em carne de jacaré (Telis et al., 2003), carne de suíno (Poligné et al., 2002; Olmos et al., 2004), carne bovina (Chiralt et al., 2001; Djelveh et al., 2001) e pescados (Teixeira e Tobinaga, 1998; Wang et al., 2000; Chiralt et al., 2001). Porém poucos estudos apresentam o processo de hidratação osmótica, também conhecido como processo de cura ou marinamento.

Três diferentes abordagens têm sido propostas para explicar as taxas de transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica (Telis et al., 2003). A primeira se baseia na estrutura do tecido celular e o transporte de água é modelado de acordo com a termodinâmica de processos irreversíveis (Spiazzi e Mascheroni, 1997). Alternativamente, a solução analítica da segunda lei de Fick para difusão em sólidos de diferentes geometrias pode ser usada, admitindo a estimação do coeficiente de difusão para água e para solutos

(Lazarides et al., 1997; Djelveh et al., 2001; Telis et al., 2003). Uma terceira abordagem é baseada na expressão macroscópica da taxa de difusão, conforme proposto por Hawkes e Flink (1978).

Telis et al. (2003) avaliaram a cinética de salga e difusividade de sal em carne de jacaré criado em cativeiro. Estes autores verificaram que o processo de salga foi influenciado pela concentração da salmoura e pela temperatura de cura, encontrando coeficientes de difusividade para penetração de cloreto de sódio de até  $9,62 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ . Sobre cinética de cura e determinação de coeficientes de difusividade para carne de frango marinada não foi encontrado nenhum registro na literatura.

O objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de difusão de cloreto de sódio em peito de frango (*pectoralis major*) durante o processo de cura.

## 2. Material e métodos

### 2.1. Matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi peito de frango (*Pectoralis major*) desossado, sem pele e resfriado, obtido em redes de supermercados, com tempo de resfriamento de até três dias, pesando entre 125,23 a 189,48 kg, com espessura inicial variando entre 20,6 a 28,4 mm.

Os agentes de cura utilizados foram cloreto de sódio (cloreto de sódio – Diana), dextrose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ -da Nuclear) e fosfato (Avo-Werke).

### 2.2. Metodologia para os testes de otimização das condições do processo

Foram realizados testes para otimização das condições de processo (concentrações de agentes osmóticos e temperaturas) a serem usadas nos experimentos de cinética de cura. Para isto adotou-se um planejamento fatorial  $2^4$  com pontos centrais, propostos por Box et al., (1978). Como agentes osmóticos foram utilizados cloreto de sódio, fosfato e dextrose, dissolvidos em água destilada. Utilizou-se o cloreto de sódio nas concentrações de 2%, 4% e 6%; fosfato 1%, 2% e 3% e dextrose 0, 2% e 4%. As temperaturas testadas foram de 5°C, 10°C e 15°C.

A escolha dos níveis das variáveis, concentração de cloreto de sódio e concentração de fosfato foram baseadas no trabalho de LEMOS et al. (1999) que recomenda a utilização de concentrações de sal de 3 a 4% e de fosfato de 2 a 3% para peito de frango. As concentrações de dextrose testadas foram baseadas em trabalho realizado por Murphy e Zerby (2004), que estudaram a interação dos agentes de

cura na perda de peso no cozimento e demonstram efeitos positivos na perda de peso no cozimento quando utilizado 3% de dextrose em soluções contendo cloreto de sódio e fosfato.

A proporção entre salmoura e peito de frango foi fixada em 1:1. O peito de frango foi pesado e colocado em recipientes contendo a salmoura na composição pré-estabelecida, e mantido sob refrigeração, sem agitação e coletados ao final de 16 h de imersão em salmoura. Na seqüência, a salmoura foi drenada e os peitos de frango foram envolvidos em papel absorvente para eliminação do excesso de salmoura. Em seguida, foram pesados para determinação da salmoura incorporada. Os resultados foram expressos como a porcentagem de ganho de peso, conforme descrito por Lemos *et al.*, (1999), que relaciona a quantidade de salmoura absorvida pelo peso da amostra após a cura. Após a cura, os peitos foram pesados e cozidos em forno doméstico, até atingir temperatura interna de 80°C. A temperatura foi medida com o auxílio de um termômetro digital tipo agulha, colocado no ponto frio dos peitos de frango. Então, foram resfriados em temperatura ambiente e novamente pesados. O rendimento no cozimento foi calculado a partir da diferença entre a massa na entrada e na saída do forno e expressas em porcentagem (Hongsprabhas & Barbut, 1999). Foram realizadas análises de pH através de eletrodo de penetração, diretamente na carne (Denadai *et al.*, 2002) e umidade através da perda de água e substâncias voláteis em estufa a 105°C (AOAC, 1990), para peito de frango *in natura* e após a cura (dados não mostrados).

Os resultados de ganho de peso no processo de cura e perda de peso no cozimento foram avaliados estatisticamente utilizando-se a metodologia de superfície de resposta através do *software* STATISTIC for Windows versão 6.0. Os níveis de significância foram baseados em valores de  $p \leq 0,05$ .

### 2.3. Cinética de cura

Para os experimentos de cinética de cura foram empregadas as concentrações de agentes de cura que apresentaram maiores rendimentos nos testes de otimização das condições de processo: cloreto de sódio (2%, 6%), fosfato (1%, 3%), dextrose (4%) e temperaturas de 5°C e 15°C.

O processo de cura foi conduzido conforme já apresentado no item 2.2. Nestes experimentos foram coletadas amostras em tempos pré-determinados de 0, 0,33, 1, 2, 4, 8, 15, 25, 45 e 60 h de cura. O tempo total de cura foi baseado em

trabalho de Telis *et al.* (2003), que estudaram a cinética de salga e difusividades de sal em carne de jacaré do Pantanal Mato-Grossense, para obter a concentração de equilíbrio de cloreto de sódio.

Para peito de frango *in natura* e para as amostras recolhidas nos diferentes tempos de cura, foram realizadas medidas de espessura, comprimento e largura dos peitos de frango com auxílio de um paquímetro. A densidade foi determinada pelo método de deslocamento de líquido, onde se utilizou a água destilada como líquido de imersão, segundo metodologia apresentada por Telis *et al.* (2003). A densidade das salmouras foi determinada por picnometria a 25°C. O conteúdo de umidade foi determinado segundo metodologia da AOAC (1990) (dados não mostrados). A quantidade de sal foi obtida pelo método de Mohr (BRASIL, 1999). Todas as análises foram realizadas em duplicata.

#### 2.3.1. Procedimento matemático e análise estatística

As taxas de penetração de cloreto de sódio no peito de frango, durante o tratamento osmótico, foram modeladas baseando-se na solução analítica da segunda lei de Fick (Equação (1)), conforme modificado por Telis *et al.* (2004), representada pela Equação (2).

$$\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right) \quad (1)$$

$$\frac{C_0 - C}{C_0 - C_{eq}} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D(2n+1)^2 \pi^2 t}{L^2}\right) \quad (2)$$

Onde X e C correspondem ao conteúdo de umidade e concentração de cloreto de sódio em g/100g, respectivamente, no tempo t, dado em segundos.  $X_0$  e  $C_0$  os valores iniciais destas variáveis, e  $X_{eq}$  e  $C_{eq}$  correspondem aos valores no equilíbrio. D representa o coeficiente de difusão e é dado em  $m^2/s$  e L a espessura da matéria-prima, dada em metros.

É importante salientar que para realização dos cálculos das taxas de difusão e para determinação das concentrações de cloreto de sódio foi considerada a espessura total da amostra de peitos de frango inteiros.

A Equação (2) foi ajustada aos dados experimentais usando os primeiros seis termos da série e o coeficiente de difusão foi calculado com auxílio do *software* MATLAB R12 versão 6.0. A adequação do modelo foi avaliada pelo erro médio quadrático (MSE). Quanto menor o valor de MSE (Equação (3)) melhor é o ajuste da curva ao modelo.

$$MSE = \frac{\sum (\text{Valor}_{\text{predito}} - \text{Valor}_{\text{observado}})^2}{n} \quad (3)$$

Onde n é o número de valores experimentais.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Testes de otimização das condições do processo

Os resultados de ganho de peso no processo de cura e perda de peso no cozimento para peito de frango, nos diferentes experimentos, estão apresentados na Tabela 1. Verifica-se que o ganho de peso no processo de cura é compensado negativamente com uma maior perda de peso no cozimento. As maiores absorções de salmoura ocorreram quando as concentrações de fosfato e dextrose foram de 3% e 4%, respectivamente, não sofrendo influência da concentração de cloreto de sódio, quando utilizada temperatura de cura de 5°C.

Porém, quando se utilizou a temperatura de 15°C, a maior concentração de cloreto de sódio resultou em diminuição no ganho de peso. As menores perdas de peso no cozimento foram obtidas também com concentrações de fosfato de 3%, de dextrose de 4%, ambas à temperatura de 5°C. Nota-se, ainda, que quando se utilizou o maior nível de concentração de cloreto de sódio (6%) as perdas no cozimento sempre foram menores.

Os melhores resultados em relação à absorção de salmoura e perda de peso no cozimento, foram obtidos com as maiores concentrações de fosfato e dextrose (3 e 4 % respectivamente), independente da concentração de sal empregada (experimentos 7 e 8). Isto é devido ao fato da adição de fosfatos em salmouras auxiliam no aumento da água ligada, do pH e na solubilização das proteínas (Boles e Swan, 1997). Adicionalmente, Murphy e Zerby (2004) estudaram soluções contendo cloreto de sódio, fosfato e dextrose na perda de peso no cozimento para os músculos *longissimus dorsi* e *semimembranosus* de cordeiro, e demonstram que níveis de 3% de dextrose inibem o declínio do pH, provavelmente pela inibição da depressão do glicogênio e da glicólise, resultando no aumento da capacidade de retenção de água e conseqüentemente aumentando a incorporação de salmoura e reduzindo as perdas no cozimento. Os resultados encontrados por estes autores estão de acordo aos resultados encontrados neste trabalho.

Tabela 1: Matriz do planejamento experimental e resposta para ganho de peso no processo de cura e perda de peso no cozimento para peito de frango nos diferentes tratamentos.

Experimento	[NaCl] (%)	[fosfato] (%)	[dextrose] (%)	Temperatura (°C)	Ganho de peso (%)	Perda de peso (%)
1	2	1	0	5	10,69	27,23
2	6	1	0	5	11,79	22,47
3	2	3	0	5	11,18	23,87
4	6	3	0	5	11,88	17,96
5	2	1	4	5	8,06	24,69
6	6	1	4	5	10,02	19,74
7	2	3	4	5	14,32	16,58
8	6	3	4	5	15,27	15,98
9	2	1	0	15	9,23	26,24
10	6	1	0	15	10,72	23,57
11	2	3	0	15	13,06	22,54
12	6	3	0	15	11,54	19,88
13	2	1	4	15	7,43	27,92
14	6	1	4	15	11,96	26,41
15	2	3	4	15	15,75	26,43
16	6	3	4	15	9,25	21,48
17*	4	2	2	10	13,22	24,50

\*Ponto central, média de 4 repetições.

Tabela 2: Efeitos das concentrações de cloreto de sódio, fosfato e dextrose, e da temperatura de cura no ganho de peso no processo de cura e perda de peso no cozimento para peito de frango.

Fatores	Ganho de peso na cura		Perda de peso no cozimento	
	Efeitos	p	Efeitos	p
Médias/Interac.	11,752	0,000*	22,892	0,000*
(1) NaCl (%)	0,338	0,713	- 3,501	0,013*
(2) Fosfato (%)	2,793	0,023*	- 4,193	0,006*
(3) Dextrose (%)	0,246	0,788	- 0,566	0,572
(4) Temperatura (°C)	-0,533	0,566	3,243	0,018*
(1) x (2)	-1,931	0,077	-0,025	0,976
(1) x (3)	-0,103	0,909	0,498	0,617
(1) x (4)	-0,838	0,379	0,553	0,580
(2) x (3)	1,486	0,148	-0,378	0,702
(2) x (4)	-0,228	0,803	0,741	0,464
(3) x (4)	-0,286	0,755	3,068	0,022*

\*Diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Na Tabela 2 estão expressos os efeitos das variáveis estudadas individualmente e para as interações entre as variáveis no ganho de peso no processo de cura e na perda de peso no cozimento. Para a resposta em ganho de peso na cura, apenas a concentração de fosfato apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ), mostrando um efeito positivo para esta resposta, ou seja, a maior concentração de fosfato fez com que aumentasse o ganho de peso. A interação entre as variáveis concentrações de fosfato e de dextrose, apesar de não ser estatisticamente significativa, apresentou efeito positivo, indicando que a utilização de maiores concentrações destas variáveis (3% de fosfato e 4% de dextrose) aumenta o ganho de peso na cura, conforme verificado na Tabela 1.

As variáveis que apresentaram diferença significativa para a resposta perda de peso no cozimento foram: concentração de cloreto de sódio e fosfato, temperatura de cura e a interação entre a temperatura e a concentração de dextrose. Estas variáveis apresentaram um efeito positivo na perda de peso no cozimento, indicando que maiores concentrações de cloreto de sódio e fosfato resultam em menores perdas no cozimento, e a utilização de menores temperaturas de cura resultaram em menores perdas no cozimento.

A Figura 1 representa o comportamento das variáveis testadas para a resposta ganho de peso na cura. A superfície de resposta apresenta a interação do efeito “concentração de fosfato”, e temperatura de cura, a variável “concentração de fosfato” foi selecionada por apresentar efeito estatisticamente significativo para esta resposta, e a temperatura foi selecionada, pois mesmo não apresentando efeito estatisticamente significativo, como pode ser verificado na superfície de resposta,

foi a variável com maior efeito, entre as que não foram estatisticamente significativas. As concentrações de dextrose e de cloreto de sódio, como também não apresentaram efeito significativo, foram fixadas no ponto central (2% e 4%, respectivamente).

Analisando a Figura 1, verifica-se que maiores concentrações de fosfato aumentaram a absorção de salmoura e a temperatura não teve efeito pronunciado no ganho de peso. Concentrações de fosfato acima de 2,5% produziram ganhos de peso acima de 13%.

A concentração de cloreto de sódio não teve efeito estatisticamente significativo na absorção de salmoura durante a cura. Entretanto, faixas de concentração de cloreto de sódio de 3 a 4,5% são recomendadas para o processo de cura de peito de frango. Concentrações acima de 6% resultam em produtos muito salgados, não sendo aprovados pelo consumidor (Lemos et al., 1998).

A Figura 2 mostra o comportamento das variáveis estudadas para resposta “perda de peso no cozimento”. A superfície de resposta apresenta a interação entre os efeitos concentração de fosfato e concentração de cloreto de sódio, que apresentaram maior efeito estatisticamente significativo na perda de peso no cozimento para peito de frango. A concentração de dextrose foi fixada em 2% (ponto central), uma vez que não apresentou efeito estatisticamente significativo para esta resposta. Também a temperatura de cura foi fixada em 5°C, pois, como mostrado na Tabela 2, esta variável apresentou efeitos significativos, demonstrando que com o aumento da temperatura de cura aumentou as perdas no cozimento. Portanto fixou-se o nível mais baixo desta variável.

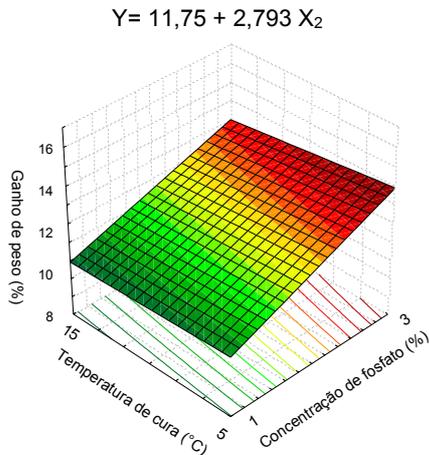


Figura 1: Superfície de resposta para os efeitos “concentração de fosfato” e “temperatura de cura” no ganho de peso no processo de cura para peito de frango (concentração de dextrose e de cloreto de sódio fixadas em 2% e 4%, respectivamente).

Verifica-se que com as maiores concentrações de fosfato e de cloreto de sódio para os níveis das variáveis estudadas obtiveram-se as menores perdas no cozimento. Foram encontradas reduções superiores a 10% na perda no cozimento, demonstrando um efeito sinérgico entre estas duas variáveis.

Estes resultados estão de acordo com aqueles encontrados por Murphy & Zerby (2004), que estudaram o efeito da combinação de soluções contendo cloreto de sódio (2%), poli-fosfato (0,5%) e dextrose (3%), na perda de peso no cozimento para *longissimus dorsi* de cordeiro. Os autores conseguiram reduzir a perda no cozimento em até 9,29%, quando utilizado os três componentes, em comparação ao uso de apenas um ou dois destes componentes. Ocorreu, ainda, uma redução de 9,37%, quando comparado a uma amostra controle, ou seja, sem adição de nenhum agente de cura.

O efeito sinérgico de cloreto de sódio e de fosfatos na diminuição de perdas no cozimento para peito de frango é também demonstrados por Lemos *et al.* (1999), que atribuem este resultado ao aumento da capacidade de retenção de água, além de citarem o melhoramento na textura do produto provocado pela adição destes compostos na solução de cura.

### 3.2. Tratamento osmótico

A Tabela 3 apresenta a evolução da absorção de cloreto de sódio na carne de peito de frango com o

$$Y = 22,89 - 3,50 X_1 - 4,19 X_2 + 3,24 X_4 + 3,07 X_3 X_4$$

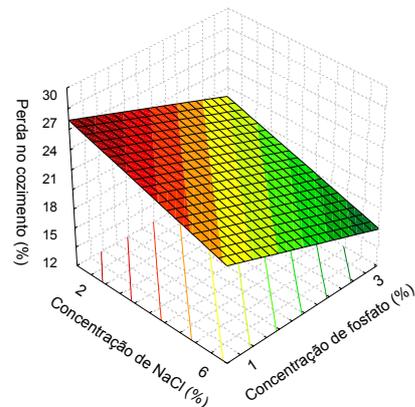


Figura 2: Superfície de resposta para os efeitos “concentração de fosfato” e “concentração de cloreto de sódio” na perda de peso no cozimento para peito de frango (concentração de dextrose fixada em 2% e temperatura de cura em 5°C).

tempo, em diferentes condições. As Figuras 3 e 4 apresentam o ajuste do Modelo da Lei de Fick aos dados experimentais da evolução dos índices de absorção de cloreto de sódio para peito de frango durante o processo de cura, em diferentes condições. Verifica-se que a utilização de maiores concentrações de cloreto de sódio, aliadas a maiores concentrações de fosfato, resultaram nas maiores absorções de cloreto de sódio, independente da temperatura de cura, demonstrando o efeito sinérgico destes agentes osmóticos.

Tabela 3: Evolução da absorção de cloreto de sódio em peito de frango para diferentes condições de cura.

Tempo (h)	% NaCl Teste 1	% NaCl Teste 2	% NaCl Teste 3	% NaCl Teste 4
0,33	0,44	0,17	0,50	0,64
1	0,70	0,30	0,90	0,91
2	0,82	0,26	1,20	1,21
4	1,18	0,44	1,40	1,27
10	1,20	0,55	1,62	2,01
15	1,86	0,56	1,82	2,03
25	1,88	0,65	2,00	2,30
45	2,10	0,74	2,50	2,40
60	2,30	0,84	2,51	2,58

Teste 1- 6% NaCl, 1% fosfato, 4% dextrose, 5°C; teste 2- 2% NaCl, 3% fosfato, 4% dextrose, 5°C; teste 3- 6% NaCl, 3% fosfato, 4% dextrose, 5°C; teste 4- 6% NaCl, 3% fosfato, 4% dextrose, 15°C.

Um rápido aumento na concentração de cloreto de sódio no músculo foi observado nas primeiras 10 h de processo. A partir daí, houve uma redução na taxa de difusão, até se alcançar a concentração de equilíbrio, para todos os tratamentos. Este mesmo comportamento foi encontrado por Telis *et al.* (2003), que estudou as difusividades de sal em carne de jacaré. Wang *et al.* (2000) atribuem este fato a rápida difusão do cloreto de sódio nas primeiras horas de processo devido ao grande gradiente de concentração entre salmoura e carne no início do processo, e que no decorrer do tempo este gradiente é reduzido provavelmente devido à formação de uma camada na superfície da carne, em função do alto conteúdo de sal, agindo como uma barreira em oposição à entrada deste componente.

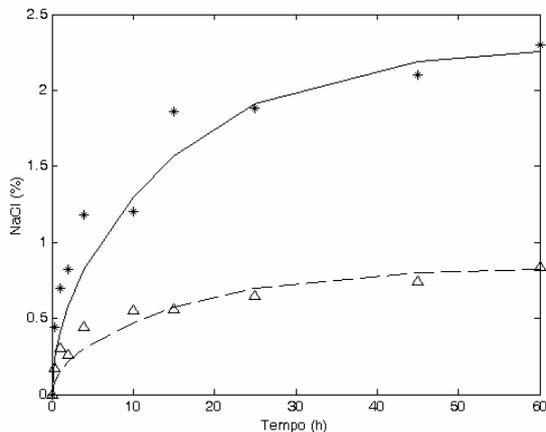


Figura 3: Cinética de incorporação de cloreto de sódio em peito de frango durante tratamento osmótico. (—) e (- - -) Modelo da Lei de Fick; (\*) 6% de NaCl, 1% de fosfato, 5°C; ( $\Delta$ ) 2% de NaCl, 3% de fosfato, 5°C. Concentração de dextrose fixada em 4%.

A influência da concentração de cloreto de sódio através da salmoura inicial foi observada na penetração deste componente em peito de frango, como apresentado na Figura 3. Como esperado, a concentração de cloreto de sódio no peito de frango no final do processo aumentou com o aumento da concentração de cloreto de sódio na solução inicial. Estes dados estão de acordo com os encontrados por Gou *et al.* (2003) e por Telis *et al.* (2003). As concentrações dos agentes osmóticos influenciam na força motriz de penetração do sal associada com os mecanismos difusionais e, assim, influenciam no tempo de processo de cura (Aguilera *et al.*, 2003).

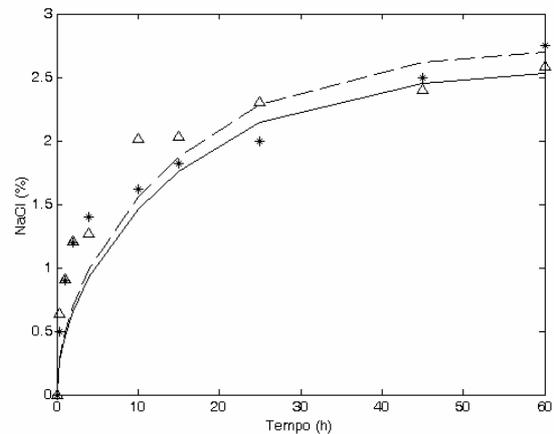


Figura 4: Cinética de incorporação de cloreto de sódio em peito de frango durante tratamento osmótico. (—) e (- - -) Modelo da lei de Fick; (\*) 6% de NaCl, 3% de fosfato, 5°C; ( $\Delta$ ) 6% de NaCl, 3% de fosfato, 15°C. Concentração de dextrose fixada em 4%.

Verifica-se que o aumento da temperatura de cura (Figura 4) praticamente não influenciou na penetração de cloreto de sódio em peito de frango, o que não era esperado. Muitos trabalhos demonstram um efeito positivo do aumento da temperatura na taxa de difusão de cloreto de sódio em carnes, Chiralt *et al.* (2001) estudou a influência da temperatura na taxa de difusão de cloreto de sódio em filé de salmão com espessura de 1 cm, estes autores obtiveram um incremento na taxa de difusão de  $0,84 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  quando a temperatura foi aumentada de 5°C para 15°C. Telis *et al.* (2003) determinou as taxas de difusividade para carne de jacaré do Pantanal Mato-Grossense, encontrando um aumento ainda mais pronunciado da taxa de difusão quando aumentada a temperatura de cura de 10°C para 15°C, o incremento na taxa de difusão foi de  $2,39 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ . O comportamento adverso encontrado neste trabalho pode ter ocorrido considerando-se o processo como hidratação osmótica, onde se utilizou baixa concentração de cloreto de sódio, e dos demais agentes de cura empregados, além de se tratar de uma matéria-prima com características diferentes das estudadas por estes autores.

Na Tabela 4 são apresentados as concentrações de equilíbrio de cloreto de sódio alcançadas no peito de frango após 60 h de cura, além dos resultados das taxas de difusão do cloreto de sódio, obtidos com o emprego do Modelo da Lei de Fick ( $D_{\text{NaCl}}$ ) e o erro médio quadrático (MSE) entre as curvas modeladas e as experimentais, para as diferentes

Tabela 4: Concentração de equilíbrio e coeficientes de difusividade para cloreto de sódio durante o tratamento osmótico de peito de frango em diferentes condições osmóticas.

Solução osmótica <sup>a</sup>	T (°C)	Concentração de equilíbrio (%)	$D_{NaCl}^b$ ( $10^{-10} m^2/s$ )	MSE (%)
6% Cloreto de sódio/ 1% fosfato	5	2,30	9,55	0,041
2% Cloreto de sódio/ 3% fosfato	5	0,84	8,99	0,006
6% Cloreto de sódio/ 3% fosfato	5	2,75	9,45	0,073
6% Cloreto de sódio/ 3% fosfato	15	2,58	9,31	0,116

a - concentrações de dextrose foram fixadas em 4%; b – taxa de difusão de cloreto de sódio no peito de frango.

condições estudadas. As taxas de difusão e o erro médio quadrático foram obtidos conforme descrito no item 2.3.1. Verifica-se que ocorreu uma diminuição na taxa de difusão quando utilizada menor concentração de cloreto de sódio na salmoura inicial, demonstrando a importância deste parâmetro nas taxas de transferência de massa.

Os resultados para as taxas de difusão do cloreto de sódio no peito de frango apresentaram valores praticamente constantes, variando de  $8,99 \times 10^{-10}$  a  $9,55 \times 10^{-10} m^2/s$ . Esta ordem de magnitude pode ser comparada aos resultados apresentados por Telis *et al.* (2003), para difusividade em carne de jacaré encontrando valores que variaram de  $0,47 \times 10^{-10}$  a  $9,62 \times 10^{-10} m^2/s$ . Wang *et al.* (2000) apresentaram valores para a difusividade de sal em carne de peixe, que variou de  $0,28 \times 10^{-10}$  a  $14,5 \times 10^{-10} m^2/s$ .

Os valores de MSE demonstram uma boa adequação dos dados experimentais ao Modelo de Fick para difusividade de cloreto de sódio em peito de frango. A comparação do valor de MSE para as quatro curvas modeladas mostra que o modelo obteve a melhor predição dos dados de difusividade para as concentrações de cloreto de sódio de 2% e de fosfato de 3%, e temperatura de 5°C, com valor de 0,006.

#### 4. Conclusões

Verificaram-se, nos testes de otimização das condições do processo que maiores concentrações de cloreto de sódio (6%), fosfato (3%) e dextrose (4%), juntamente com a menor temperatura de cura (5°C) tiveram um efeito positivo no ganho de peso na cura e no rendimento no cozimento de peito de frango, para os níveis estudados para estes parâmetros. O maior ganho de peso observado foi de 15,27% e a menor perda no cozimento foi de 15,98%. Soluções de cloreto de sódio, fosfato e dextrose mostraram serem adequadas para o tratamento osmótico de peito de frango. Os coeficientes de difusão de cloreto de sódio ficaram entre  $8,99 \times 10^{-10}$  e  $9,55 \times 10^{-10} m^2/s$ . A temperatura

de cura praticamente não influenciou no coeficiente de difusão. O aumento da concentração inicial de cloreto de sódio aumentou o coeficiente de difusão.

Este estudo permitiu descrever a penetração de cloreto de sódio na carne de frango em diferentes concentrações de agentes de cura e temperaturas de cura. O emprego da solução analítica da segunda lei de Fick descreveu bem a penetração de cloreto de sódio em peito de frango apresentando bons resultados na análise estatística.

#### 5. Referências bibliográficas

- A.O.A.C - Association of Official Agricultural Chemists. **Official methods of analysis**. 11 ed. Washington. D.C. 1141, 1990.
- Aguilera, J.M.; Chiralt, A.; Fito, P. Food dehydration and product structure. **Trends in Food Science e Technology**, v. 14, p. 432-437, 2003.
- Boles, J.A.; Swan, J.E. Effects of brine ingredients and temperature on cook yields and tenderness of pré-rigor processed roast beef. **Meat Science**, v. 45, p. 87-97, 1997.
- Box, G.E.P.; Hunter, W.G.; Hunter, J.S. **Statistics For Experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building**. New York: John Wiley e Sons, 1978.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Métodos Analíticos Físico-Químicos para Controle de produtos Carneos e seus Ingredientes: Sal e Salmoura**. Brasília, 1999.
- 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.
- 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.
- Denadai, J.C.; Mendes, A.A.; Garcia, R.G.; Almeida, I.C.L.; Moreira, J.; Takita, T.S.; Pavan, A.C.; Garcia, E.A. Efeito da duração do período de jejum pré-abate sobre rendimento de carcaça e a qualidade da carne do peito de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 4, n. 2, 101-109, mai./jun. 2002.

- Djelveh, G.; Gros, J.B.; Emam-Djomeh, Z. Osmotic dehydration of foods in a multicomponent solution. Part II – water loss and solute uptake in agar gels and meat. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 34, p. 319-323, 2001.
- Gou, P.; Comaposada, J.; Arnau, J. Cloreto de sódio content and temperature effects on moisture diffusivity in the *Gluteus medius* muscle of pork ham. **Meat Science**, v. 63, p. 29-34, 2003.
- Hawkes, J.; Flink, J.M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.2, p. 265-284, 1978.
- Hongsprabhas, P.; Barbut, S. Effect of pre-heated whey protein level and salt on texture development of poultry meat batters. **Food Research International**, v. 32, p. 145-149, 1999.
- Kaymak-Ertekin, F.; Sultanoglu, M. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, v. 46, p. 243-250, 2000.
- Lazarides, H.N.; Gekas, V.; Mavroudis, N. Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. **Journal of Food Engineering**, v. 31, p. 315-324, 1997.
- Lemos, A.L.S.C.; Nunes, D.R.M.; Viana, A.G. Estudos para otimização do processo de obtenção de marinados por imersão. In.: Congresso Iberoamericano de Engenharia de Alimentos, II, 1998, Bahía Blanca.
- Lemos, 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.
- Murphy, M.A.; Zerby, H.N. prerigor infusion of lamb with sodium chloride, phosphate, and dextrose solutions to improve tenderness. **Meat Science**, v. 66, p. 343-349, 2004.
- Olmos, A.; Trelea, I.C.; Poligné, I.; Collignan, A.; Broyart, B.; Trystram, G. Optimal operating conditions calculation for a pork meat dehydration-impregnation-soaking process. **Lebensm.-Wiss. U.-Technol.**, v. 37, p. 763-770, 2004.
- Poligné, I.; Broyart, B.; Trystram, G.; Collignan, A. Prediction of mass-transfer kinetics and product quality changes during a dehydration-impregnation-soaking process using artificial neural networks. Application to pork curing. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 35, p. 748-756, 2002.
- Spiazzi, E.; Mascheroni, R. Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables. I – development of the simulation model. **Journal of Food Engineering**, v. 34, p. 387-410, 1997.
- Teixeira, M.B.F.; Tobinaga, S. A diffusion model for describing water transport in round squid mantle during drying with a moisture-dependent effective diffusivity. **Journal of Food Engineering**, v. 36, p. 169-181, 1998.
- Telis, V.R.N.; Murari, R.C.B.D.L.; Yamashita, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v.61, p. 253-259, 2004.
- Telis, V.R.N.; Romanelli, P.F.; Gabas, A.L.; Romero, J.T. Salting kinetics and salt diffusivities in farmed Pantanal caiman muscle. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 529-535, 2003.
- Wang, D.; Tang, J.; 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.

## **4.2 EFEITO DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO NO RENDIMENTO DE PEITO DE FRANGO COZIDO**

### **4.2.1 Testes preliminares**

Foram realizados experimentos com o objetivo de estudar a influência das variáveis do processo na perda de peso no cozimento de peito de frango. Nos primeiros experimentos, a quantidade de salmoura utilizada no processo industrial foi reduzida em 15%, os tempos de cura foram estudados em vários parâmetros e foi realizado um experimento com diminuição do tempo de tangleamento em 15%. Nesta etapa, duas matérias-primas foram avaliadas, peito de frango cortado e peito de frango inteiro. Nas amostras resultantes destes experimentos foram realizadas análises da concentração de umidade, proteína e cloreto de sódio, e pH.

Os resultados obtidos nos testes preliminares para peito de frango cortado e peito de frango inteiro estão apresentados nas Tabelas 9 e 10, respectivamente.

Verifica-se uma tendência de diminuição da perda no cozimento quando utilizada menor quantidade de salmoura e menor tempo de cura, para os níveis de variáveis utilizados. Observa-se na Tabela 9 que os resultados das análises físico-químicas foram próximos para peito de frango cortado em partes nos diferentes tratamentos, observa-se a diminuição da umidade e aumento na concentração de cloreto de sódio após o cozimento, em função da perda de água no processo.

Tabela 9 - Condições de operação, resultados de perda de peso no cozimento e da análise físico-química para peito de frango cortado em partes.

Quantidade de salmoura (%)	Tempo de cura (h)	Perda no cozimento (%)	Etapa do processo <sup>a</sup>	Umidade (%)	Proteína (%)	NaCl (%)	pH
15	9	44,30	1	74,94	*	0,75	5,86
			2	60,23	*	*	6,14
			3	60,87	34,17	1,08	6,16
12	9	43,52	1	75,34	*	0,77	5,89
			2	60,49	*	*	6,17
			3	61,23	34,56	1,04	6,14
15	2	43,34	1	75,34	*	0,89	5,97
			2	60,26	*	*	6,12
			3	61,22	33,58	1,31	6,16

(a) 1- após a cura; 2- após o cozimento; 3- após congelamento. \* não avaliado.

A Tabela 10 apresenta os resultados de perda de peso no cozimento e das análises físico-químicas para peito de frango inteiro, e as condições utilizadas no processo.

Observa-se na Tabela 10, quando se utilizou como matéria-prima peito de frango inteiro e salmoura contendo água, cloreto de sódio e fosfato, que o menor tempo de cura (0 h) aliado a menor quantidade de salmoura (25%) apresentou a menor perda no cozimento. Mostrando novamente uma tendência na diminuição da perda no cozimento quando utilizada menor quantidade de salmoura e menor tempo de cura. A composição físico-química para os diferentes tratamentos de peito de frango inteiro apresentaram-se próximas.

Tabela 10 - Condições de operação, resultados de perda de peso no cozimento e da análise físico-química para peito de frango inteiro.

Quantidade de salmoura (%)	Tempo de tangleamento (h)	Tempo de cura (h)	Perda no cozimento (%)	Etapa do processo <sup>a</sup>	Umidade (%)	Proteína (%)	NaCl (%)	pH
30	2:00	7	32,68	1	76,94	*	0,82	6,07
				2	70,92	*	*	6,13
				3	70,37	28,18	0,99	6,18
30	2:00	0	33,22	1	76,34	*	0,93	6,00
				2	71,02	*	*	6,06
				3	70,81	26,53	1,05	6,28
30	2:00	17:20	32,84	1	75,34	*	0,90	5,98
				2	69,59	*	*	6,21
				3	71,07	27,05	1,02	6,22
25	1:40	3	31,23	1	74,64	*	0,72	6,07
				2	70,39	*	*	6,29
				3	70,54	28,45	0,92	6,28
25	2:00	0	29,86	1	76,54	*	0,89	6,08
				2	70,65	*	*	6,27
				3	70,12	27,62	1,05	6,16

(a) 1- após a cura; 2- após o cozimento; 3- após congelamento. \* não avaliado.

Comparando os resultados das duas matérias-primas utilizadas nos testes preliminares, verifica-se que o peito de frango cortado apresentou maiores perdas no cozimento, isto pode ser devido à maior área de contato, juntamente ao tipo de salmoura empregada, pois a salmoura utilizada nos experimentos com peito de frango cortado em partes não continha fosfato. Muitos trabalhos indicam o efeito positivo da utilização de fosfatos em salmouras de cura para carnes de suíno (JIMENEZ-VILLARREAL *et al.*, 2003), de ovelha (MURPHY e ZERBY, 2004), de frango (LEMOS *et al.*, 1999) e de bovinos (SHAHIDI e SYNOWIECKI, 1997; LAWRENCE *et al.*, 2003). O teor de umidade no produto final foi maior para peito de frango inteiro do que para peito de frango cortado em partes e, conseqüentemente, a concentração de proteína foi menor, uma vez que há uma relação inversamente proporcional entre estes dois componentes. A maior concentração de umidade pode ser devido à maior quantidade de salmoura utilizada para cura e a menores perdas no cozimento obtidas para peito de frango inteiro.

#### **4.2.2 Artigo: Efeito das variáveis de processo no rendimento de peito de frango cozido.**

Com os resultados obtidos nos testes preliminares verificou-se a importância de realização de experimentos mais detalhados para determinar as melhores condições de processo que levassem a menores perdas de peso no cozimento, sem com isso afetar as propriedades físico-químicas e sensoriais do produto final. Assim, realizou-se um planejamento experimental, onde foram avaliados os seguintes parâmetros de processo: tempo de maturação, tempo de cura e a quantidade de salmoura utilizada no processo. Estas variáveis foram estudadas em dois níveis.

Os resultados destes experimentos estão apresentados na forma de artigo, como segue.

## Efeito das variáveis de processo no rendimento de peito de frango cozido

G. Volpato\*, E. M. Z. Michielin, S. R. S. Ferreira, J. C. C. Petrus

EQA – CTC/UFSC Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos – Centro Tecnológico /  
Universidade Federal de Santa Catarina. Caixa Postal 476, CEP 88040-900. Florianópolis, SC, Brasil.

\*Autor para correspondência - E-mail: giandra@enq.ufsc.br

---

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi otimizar os efeitos do tempo de maturação, quantidade de salmoura e tempo de cura no processamento de carne de peito de frango, visando reduzir a perda de peso durante o cozimento obtendo um produto final com igual, ou melhores características sensoriais, aplicando o método de superfície de resposta. Para a avaliação da qualidade da carne, analisaram-se critérios como umidade, maciez e cor da carne. Foi avaliado o efeito do tempo de maturação de 0 e 24 horas, da quantidade de salmoura utilizada na cura de 12 e 15% e do tempo de cura de 2 e 7 horas. Os dados foram tratados com o auxílio do *software* Statística versão 6.0. Verificou-se que os melhores rendimentos durante o cozimento foram obtidos com tempo de maturação de 24 h, quantidade de salmoura de 12% e tempo de cura de 2 h, onde se observou um rendimento de até 4,21%. A análise sensorial indicou que não houve diferença significativa ( $p>0,10$ ) entre os diferentes tratamentos estudados.

*Palavras-chave:* peito de frango, rendimento no cozimento, análise sensorial.

---

### Effects of process variables in the chicken breast cooking yield

#### Abstract

The objective of this work was to optimize the effects of the brine amounts, maturation and curing time in the processing of chicken breast, aiming to reduce the weight loss during the cooking obtaining a final product with equal, or better, sensorial characteristics, applying the response surface method. For evaluation of the meat quality criteria as humidity, softness and color of the meat were analyzed. The effects of the maturation time, of 0 and 24 hours, brine amount used in the curing, of 15 and 12%, and the curing time, of 2 and 7 hours, were evaluated. The data were treated with the software *Statistica* version 6.0. The better yields during the cooking were obtained with maturation time of 24 h, brine amount of 12% and curing time of 2 h, where was observed yields up to 4,21%. The sensory evaluation indicated that there was not significant difference ( $p>0,10$ ) among the different treatments.

*Keywords:* chicken breast, cooking yield, sensory evaluation.

---

### 1. Introdução

A busca do consumidor por alimentos de fácil preparo levou a indústria de carnes a desenvolver tecnologias de processamento adequadas para fornecer alimentos prontos e semi-prontos, estendendo o seu período de prateleira, agregando valor e conveniência. O filé de peito de frango cozido e congelado é um dos produtos de aves de maior valor agregado que tem como principais etapas de processo o tumbamento, a cura e o cozimento. O tratamento da matéria-prima e os constituintes da salmoura, aliados a uma forma adequada de cozimento devem atender aos requisitos de

segurança alimentar gerando um rendimento de produção vantajoso para a indústria.

A mais importante propriedade tecnológica e sensorial dos produtos cárneos depende da capacidade do tecido muscular de ligar e reter água e formar géis. Todas estas propriedades estão associadas com as condições de manejo das aves antes do abate, durante e após o mesmo, além da aplicação de substâncias durante o processamento (Medynski *et al.*, 2000).

O processo de cura é muito utilizado para melhorar o sabor, aumentar a suculência, contribuir para a melhora da maciez e aumentar a capacidade de retenção de água da carne. Esta última

propriedade está relacionada com o aspecto da carne antes e após o cozimento, além de influenciar diretamente no rendimento do processo e na palatabilidade do produto (Garcia *et al.*, 2002).

O sal é considerado o mais importante ingrediente em um produto curado, sendo constantemente estudado devido à sua contribuição para os atributos sensoriais de sabor e textura da carne, além de melhorar as propriedades de retenção de água na carne de peito de frango pelo aumento da solubilidade das proteínas miofibrilares (Hongsprabhas & Barbut, 1999, Lawrence *et al.*, 2003). A presença de sal durante o tampleamento reduz significativamente a umidade e perdas no cozimento, mas não afeta significativamente os valores de força de cisalhamento (Lemos *et al.*, 1999). O tampleamento é o mais severo tipo de tratamento físico envolvido no processamento de carnes curadas, servindo para romper a estrutura do músculo através da aplicação de energia mecânica (Pietrasik & Shand, 2003).

Muitos açúcares têm sido utilizados nas formulações de salmouras de cura e em misturas secas. Os açúcares desempenham várias funções importantes na carne curada. Atuam sobre o sabor, e ajudam a suavizar os produtos pela neutralização da aspereza e o efeito de ressecamento do sal, interferindo na perda de umidade. Os açúcares também interagem com grupos aminos das proteínas e, sobre o cozimento, açúcares proporcionam sabor e aroma característicos, e especialmente no caso de açúcares redutores, melhoram a cor, douram os produtos aumentando o sabor nas carnes curadas (Townsend & Olson, 1994; Varnam & Sutherland, 1995).

O objetivo deste trabalho foi otimizar a quantidade de salmoura, tempo de maturação e tempo de cura para o processamento da carne de peito de frango, visando reduzir a perda de peso durante o cozimento, além de se obter um produto final com igual, ou melhores, características sensoriais que o padrão obtido na indústria, aplicando o método de superfície de resposta.

## 2. Material e métodos

Testes preliminares, juntamente com os dados disponíveis na literatura (Lemos *et al.*, 1999, Leonhardt *et al.*, 2004), permitiram a definição das variáveis de processo, como tempo de maturação, composição da salmoura e tempo de cura, e estabelecimento da metodologia operacional utilizada durante os tratamentos.

### 2.1. Material

#### 2.1.1. Peito de frango

Utilizou-se peito de frango desossado, sem pele e cortado em três partes, obtido de uma linha de produção industrial.

#### 2.1.2. Equipamentos

- Balança Toledo semi-analítica com precisão de 0,01 g.
- Tumbler piloto de aço inox confeccionado pela Frigomaq, com capacidade de 88 L, com controle de vácuo e de rotação.
- Forno industrial Stein Humitrol, com controle de tempo, temperatura e umidade e capacidade de 1.000 kg/h.
- “Data logger” Datapaq, modelo Multipaq – TP0010 com faixa de medida de -190 a 400°C, intervalo de amostragem de 2 min. a 1 h, resolução de 0,1°C e precisão de 0,5°C.
- Girofreezer Gyrocompact, modelo 600 classic, operando a temperatura de -20°C, com capacidade de 1.000 kg/h.

### 2.2. Processo de obtenção de peito de frango cozido

As etapas para obtenção de peito de frango cozido estão apresentadas na Figura 1, onde pode ser visualizado um resumo das etapas do processo.

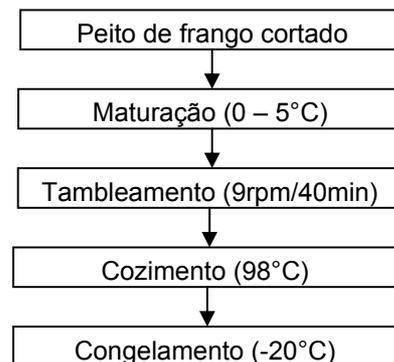


Figura 1: Fluxograma resumido do processo.

#### 2.2.1. Processo de maturação de peito de frango

O efeito do tempo de maturação na maciez e na perda de água durante o cozimento de peito de frango foi avaliado de duas formas após a desossa: a- as amostras foram imediatamente submetidas ao

tambleamento; b- as amostras foram maturadas entre 0 a 5°C por 24h antes do tambleamento.

### 2.2.2. Processo de tambleamento e cura

Antes do tambleamento as amostras de peito de frango foram identificadas e pesadas em balança semi-analítica com precisão de 0,01g e adicionadas ao tambler piloto. Adicionou-se salmoura composta de 85,4% de água, 6,6% de sal e 8,0% de dextrose. As condições de tambleamento foram: rotação de 9 rpm/40 min, sob vácuo e temperatura de 5°C. O peito de frango foi então colocado em recipientes de aço inoxidável e submetida ao processo de cura à 5°C. Os tempos de maturação utilizados foram de 0 e 24 h, os tempos de cura foram de 2 e 7 h e quantidade de salmoura utilizada foi de 12 e 15%.

### 2.3. Perda de peso durante o cozimento

Após a cura as amostras foram drenadas para eliminação do excesso de salmoura, pesadas e cozidas em forno industrial, operando a 98°C, com injeção direta de vapor, até o produto atingir temperatura interna de 80°C. Após o cozimento, as amostras foram resfriadas em temperatura ambiente e novamente pesadas. O rendimento de peito de frango foi calculado a partir da diferença entre a massa das amostras na entrada e na saída do forno e expressas em porcentagem (Hongprabhas & Barbut, 1999).

### 2.4. Monitoramento da temperatura de cozimento

O perfil de temperatura foi monitorado através de data logger com capacidade para sete medidas simultâneas. Os sensores foram uniformemente distribuídos sobre a esteira de cozimento, sendo seis sensores inseridos no ponto frio do produto e um colocado para medir a temperatura do forno. As curvas indicando os perfis de temperatura dos peitos de frango no forno foram obtidas com auxílio do programa Multi Tracker for Windows. Após o cozimento, o produto foi imediatamente congelado utilizando-se um girofreezer Gyrocompact.

### 2.5. Análises físico-químicas

Foram realizadas análises de umidade de acordo com as normas analíticas da A.O.A.C. (1990), para peito de frango *in natura*, após a cura e após o congelamento. A determinação de proteína também foi realizada conforme metodologia

proposta pela A.O.A.C. (1990), para peito de frango *in natura* e após o congelamento. A quantidade de lipídios foi determinada pelo método de Soxhlet (Instituto Adolfo Lutz, 1985), para carne de peito de frango após o congelamento. A concentração de NaCl foi determinada pelo método de Mohr (BRASIL, 1999), para peito de frango após a cura e após o congelamento.

### 2.6. Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada por um grupo de 30 julgadores não treinados. Utilizou-se o método de comparação múltipla para verificar se havia diferença significativa entre os diferentes tratamentos utilizados e uma amostra padrão fornecida pela indústria. As amostras dos tratamentos e a amostra padrão foram apresentadas codificadas com algarismos de três dígitos e servidas após aquecimento a 50°C, juntamente com uma amostra padrão identificada com a letra P (Gatchalian, 1981). Foram avaliados os atributos cor, odor, sabor e textura, utilizando-se uma escala crescente de qualidade.

### 2.7. Análise estatística

Foi realizado um planejamento fatorial 2<sup>3</sup> completo, ou seja, foram avaliados três parâmetros em dois níveis: o efeito do tempo de maturação da matéria-prima (0 e 24 h), quantidade de salmoura em relação à matéria-prima (12 e 15%) e tempo de cura (2 e 7 h). Os resultados da análise sensorial foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey ao nível de 10% de significância para a comparação entre as médias das respostas de cada atributo avaliado. O planejamento experimental e a análise sensorial foram avaliados utilizando-se o *software* STATISTIC for Windows versão 6.0.

## 3. Resultados e discussão

Os perfis de temperatura obtidos para as amostras de produto submetidas ao processo de cozimento foram determinados com o auxílio do "Data-logger" estão apresentados na Figura 2. O forno foi operado a 98°C, mantendo-se constante durante todo processo de cozimento, como observado na figura. Verificou-se que a temperatura do produto aumentou gradativamente até atingir a temperatura interna de cozimento (80°C), onde a

linha vermelha indica a temperatura considerada ideal para cozimento de peito de frango. As curvas de temperatura do produto demonstram que em determinadas posições na esteira o produto atinge a temperatura de cozimento mais rapidamente e nestas posições ocorre um sobre-processamento do produto. O tempo total de cozimento, para que as peças atingissem a temperatura de cozimento, foi de 15,5 minutos.

O rendimento do produto no processo de cozimento é de grande importância econômica para a indústria, afetando também as características da palatabilidade do produto final. Desta forma, deve-se sempre procurar aumentar este rendimento sem, entretanto, alterar as especificações técnicas e sensoriais do produto.

Devido à diminuição da umidade da carne durante o processo térmico, o rendimento do produto e os atributos de qualidade como, maciez, textura e sabor podem ser negativamente afetados (Pietrasik & Shand, 2003).

Foi utilizado um planejamento experimental para se obter as melhores condições de processo que resultassem em menor perda de peso no cozimento. As variáveis e níveis estudados estão apresentados no item 2.7, sendo que a matriz do planejamento juntamente com os valores obtidos de perda de peso no cozimento para os diferentes tratamentos estão apresentados na Tabela 1.

Analisando a Tabela 1, observa-se que as menores perdas de peso no cozimento foram alcançadas nos tratamentos 4 e 8, indicando que tempo de cura de 2 h e a menor quantidade de salmoura empregada, proporcionaram os melhores resultados independente do tempo de maturação utilizado.

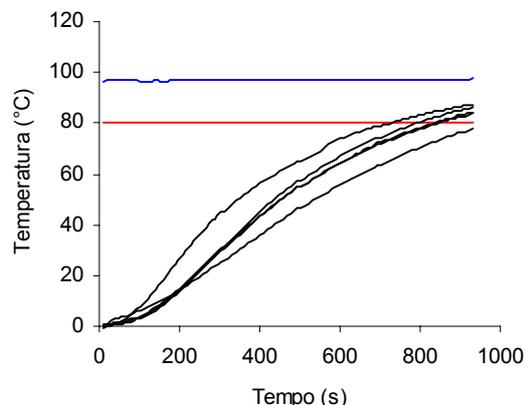


Figura 2: Perfis de temperatura durante o cozimento de carne de peito de frango, (—) temperatura do forno, (—) temperatura de cozimento, (—) temperatura do produto em diferentes posições na esteira.

Os efeitos do tempo de maturação e quantidade de salmoura na perda de peso no cozimento da carne de peito de frango estão mostrados na Figura 3, onde a superfície de resposta está apresentada. Verifica-se que a utilização de 12% de salmoura, em relação ao peso da matéria-prima, resultou em menor perda no cozimento do que quando se utilizou 15%. Conforme demonstrado por Moiseev e Cornforth (1997) e por Pietrasik e Shand (2003), o aumento na quantidade de salmoura leva a uma diminuição do rendimento durante o cozimento (quando se considera o peso do produto imediatamente antes e após o cozimento), indicando que a matriz protéica da carne não retém parte da salmoura adicionada. Nota-se, ainda, que o tempo de maturação teve menor influência na perda de peso no cozimento.

Tabela 1: Matriz do planejamento experimental e influência das variáveis de processo na perda de peso durante o cozimento de carne de peito de frango.

Tratamento	Tempo de maturação (h)	Quantidade de salmoura (%)	Tempo de cura (h)	Perda de peso no cozimento (%)
1	24	15	7	40,52
2	24	15	2	39,91
3	24	12	7	40,83
4	24	12	2	39,21
5	0	15	7	40,33
6	0	15	2	40,80
7	0	12	7	40,12
8	0	12	2	39,11

A Tabela 2 apresenta a análise estatística para as variáveis estudadas e suas interações. Apenas a variável tempo de cura foi estatisticamente significativa ( $p < 0,10$ ). Esta tendência está de acordo com o trabalho realizado por Lemos *et al.* (1999), que apresentou maiores rendimentos quando se utilizaram menores tempos de cura para coxa de frango.

Tabela 2: Análise estatística para as variáveis do processo e suas interações.

Variável	SS	MS	p
(1) Tempo de maturação	0,001	0,001	0,853
(2) Quantidade salmoura	0,655	0,655	0,128
(3) Tempo de cura	0,959	0,959	0,098
Interação 1 e 2	0,357	0,357	0,172
Interação 1 e 3	0,285	0,285	0,192
Interação 2 e 3	0,775	0,775	0,118
Error	0,027	0,027	
Total SS	3,060		

SS- soma dos quadrados; MS- média dos quadrados

A interação destas variáveis não apresentou diferenças significativas. Entretanto, estes resultados são de grande importância econômica para a indústria, pois o processo de maturação além de requerer espaço físico, também requer gasto de energia para manter a matéria-prima sob refrigeração. A redução da quantidade de salmoura, além de diminuir as perdas de peso no cozimento, levam a economia de ingredientes, sendo representativo quando se trabalha em escala industrial.

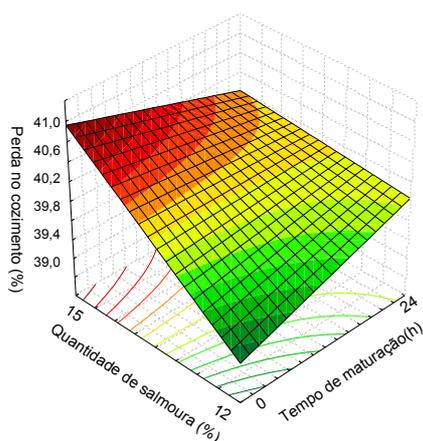


Figura 3: Superfície de resposta para os efeitos quantidade de salmoura e tempo de maturação na perda de peso.

A Figura 4 apresenta a superfície de resposta obtida para os efeitos do tempo de maturação e tempo de cura na perda de peso no cozimento. Verifica-se que com a diminuição do tempo de cura, obtiveram-se perdas inferiores a 39,91%.

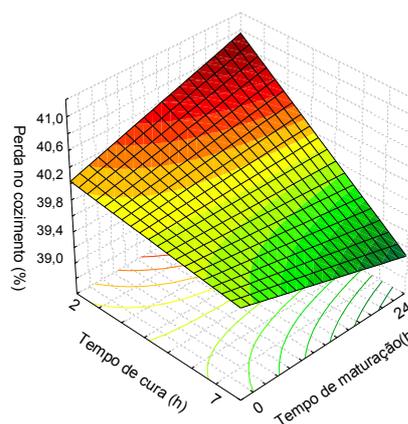


Figura 4: Superfície de resposta para os efeitos tempo de maturação e tempo de cura na perda de peso.

A interação destes dois efeitos também não apresentou diferença significativa na perda de peso no cozimento para carne de peito. Porém, como já discutido, as vantagens econômicas para diminuição do tempo de maturação também se aplicam para diminuição do tempo de cura.

Os efeitos da quantidade de salmoura e tempo de cura na perda de peso no cozimento para carne de peito de frango estão mostrados na Figura 5, onde a superfície de resposta é apresentada. Esta superfície indica que a utilização de menores tempos de cura, juntamente com menores quantidades de salmoura, obtiveram-se menores perdas de peso no cozimento.

A superfície apresentada mostra, como também pode ser visualizado na Tabela 2, que a interação entre estas variáveis foi a que mais se aproximou do valor de  $p$  estabelecido ( $p = 0,118$ ), indicando que a utilização de menor quantidade de salmoura, aliada a baixos tempos de cura, diminuiu ligeiramente as perdas de peso no cozimento. Representando, além de maiores rendimentos, maior economia de ingredientes, tempo, energia e espaço físico para indústria. Além de que o tempo de cura é de grande importância para a qualidade do produto, sendo necessário o estabelecimento de um tempo mínimo de cura para que os ingredientes da salmoura

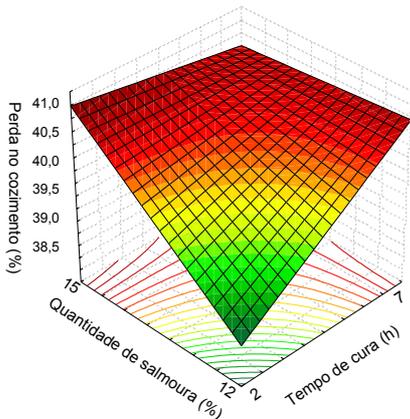


Figura 5: Superfície de resposta para os efeitos quantidade de salmoura e tempo de cura na perda de peso.

possam atuar, garantindo melhores características sensoriais e a estabilidade do produto.

Os outros efeitos testados não foram considerados estatisticamente significativos de acordo com a análise de variância ( $p > 0,10$ ). Entretanto, houve uma importante diferença nas perdas de peso obtidas nos vários tratamentos.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das análises físico-químicas nas etapas do processo

para os diferentes tratamentos empregados e também para carne de peito *in natura*.

Verifica-se uma acentuada redução na umidade após o processo de cozimento, garantindo segurança e qualidade aos produtos no varejo, sendo este processo um importante fator econômico para indústria (Chen *et al.*, 1999). O teor de umidade é o componente de maior variação da composição do peito de frango, assim como a quantidade de lipídios, sendo a quantidade destes dois componentes inversamente proporcional. Os lipídios por sua vez, desempenham um relevante papel na alimentação, aos ácidos graxos essenciais, às vitaminas lipossolúveis e aos fosfolipídios, além das características sensoriais especiais que estes conferem ao produto como a textura e sabor (Lawrie, 1985). Nota-se, um aumento na concentração de cloreto de sódio após o cozimento, que ocorre em função da redução da umidade. Este é o ingrediente básico utilizado em salmouras. Sem a inclusão deste ingrediente o processo de cura seria incompleto (Martin, 2001). Ele contribui para o aumento da capacidade de retenção de água, pois aumenta a solubilidade das proteínas da carne bem como da força iônica. Além disso, o cloreto de sódio desloca o ponto isoelétrico das proteínas da carne para baixos valores de pH, melhorando as propriedades de retenção de água (Medynski, *et al.*, 2000).

Tabela 3: Resultados das análises físico-químicas para os diferentes tratamentos.

Tratamento	Amostra <sup>a</sup>	Umidade (%)	Proteína (%)	Lipídios (%)	NaCl (%)
<i>In natura</i>		72,12	23,05	4,70	*
1	1	74,89	*	*	0,81
	2	54,17	30,37	8,28	1,43
2	1	74,41	*	*	0,87
	2	54,39	33,09	7,81	1,10
3	1	74,94	*	*	0,78
	2	55,01	33,22	7,17	1,29
4	1	73,72	*	*	0,83
	2	57,60	31,36	5,82	0,91
5	1	74,14	*	*	1,15
	2	56,14	29,96	6,15	1,23
6	1	75,06	*	*	0,92
	2	57,02	31,56	7,29	1,01
7	1	75,10	*	*	1,10
	2	53,74	30,28	8,91	1,33
8	1	74,92	*	*	0,94
	2	58,15	31,46	5,82	1,06

a - (1) após a cura; (2) produto final congelado; \* não determinado.

A Tabela 4 apresenta as médias e desvios para as amostras dos tratamentos em relação aos atributos cor, odor, sabor e textura.

Tabela 4: Média dos atributos sensoriais através da análise de variância para os tratamentos empregados no cozimento de carne de peito de frango.

Tratamentos	Atributos			
	Odor	Cor	Sabor	Textura
1	4,5±0,47	4,4±0,26	5,0±0,61	5,2±0,61
2	5,5±0,40	5,4±0,58	5,5±0,63	5,5±0,58
3	4,5±0,63	5,2±0,36	3,8±0,49	4,8±0,66
4	5,0±0,47	4,9±0,48	4,2±0,59	5,2±0,44
5	6,1±0,41	4,6±0,49	4,7±0,47	5,5±0,56
6	4,9±0,60	5,4±0,70	3,7±0,47	3,8±0,53
7	4,5±0,45	5,3±0,36	3,8±0,49	4,6±0,70
8	5,3±0,52	4,3±0,36	5,4±0,68	5,4±0,58

Através da análise de variância e teste de médias de Tukey, pôde-se constatar que os tratamentos estudados não apresentaram diferença significativa entre eles e com o padrão ( $p>0,10$ ), em relação aos atributos avaliados, indicando que a utilização de menores quantidades de salmoura e tempo de cura pode ser empregada, sem afetar as características sensoriais do produto.

#### 4. Conclusões

Os resultados deste trabalho indicam que a quantidade de salmoura de 12% e tempo de cura de 2 h são recomendados para se obter maiores rendimentos no cozimento da carne de peito de frango, enquanto que o tempo de maturação da matéria-prima não influenciou na perda de peso durante o cozimento. As análises físico-químicas e sensoriais indicaram que a utilização de menor quantidade de salmoura e tempo de cura de 2 h não alteraram as características sensoriais do produto final.

Em se tratando de processamento em nível industrial, acredita-se que os percentuais de rendimento alcançados têm relevância econômica. Além de que a diminuição do tempo de processo, de gastos com energia, economia de salmoura, e de menor espaço físico para estocagem da matéria-prima *in natura* e curada, podem levar a uma grande economia para as indústrias e esta economia no custo de produção pode ser repassada para o consumidor.

Mesmo o forno operando a temperatura constante durante o cozimento de peito de frango, as temperaturas internas (80°C) não foram alcançadas em um mesmo intervalo de tempo, indicando uma possível má distribuição do vapor injetado.

#### 5. Referências bibliográficas

- A.O.A.C - Association of Official Agricultural Chemists. **Official methods of analysis**. 11 ed. Washington. D.C. 1141, 1990.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Métodos Analíticos Físico-Químicos para Controle de produtos Cárneos e seus Ingredientes: Sal e Salmoura**. Brasília, 1999.
- Chen, H.; Marks, B.P.; Murphy, R.Y. Modeling coupled heat and mass transfer for convection cooking of chicken patties. **Journal of Food Engineering**, v. 42, p. 139-146, 1999.
- Chen, T.C. Studies on the marinating of chicken parts for deepfat frying. **Journal of Food Science**, v. 47, p. 1016-1017, 1982.
- Cunningham, F.E.; Bowers, J.A.; Craig, J.; Moore, A.M.; Froning, G.W. Composition and sensory characteristics of hot-boned, tumbled, turkey breast muscle. **Journal of Food Quality**, v. 11, p. 225-233, 1988.
- Garcia, R.G., Mendes, A.A., Garcia, E.A., Nääs, I.A., Moreira, J., Almeida, I.C.L., Takita, T.S. Efeito da densidade de criação e do sexo sobre o empenamento, incidência de lesões na carcaça e qualidade da carne de peito de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 4, n.1, 001-009, jan./apr. 2002.
- Gatchalian, M.M. **Sensory Evaluation Methods with Statistical Analysis (For Research, Product Development and Quality Control)**. Philippines: University of the Philippines, 1981.
- Hongsprabhas, P.; Barbut, S. Effect of pre-heated whey protein level and salt on texture development of poultry meat batters. **Food Research International**, v. 32, p. 145-149, 1999.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo, S.P.) **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3 ed. São Paulo: O Instituto, p. 533, 1985.
- Lawrence, T.E., Dikeman, M.E., Hunt, M.C., Kastner, C.L., Johnson, D.E. Staged injection marination with calcium lactate, phosphate and salt may improve beef water-binding ability and palatability traits. **Meat Science**, v. 65, p. 967-972, 2003.
- Lawrie, R.A. **Meat science**. 4Ed. New York: Pergamon, 1985.
- Lemos, 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.

- Leonhardt, C.; Santos, H.C.P.; Marczak, L.D.F.; Zapata-Noreña, C.P. Otimização do cozimento de filé de frango empanado em forno de injeção direta de vapor. **Cienc. Technol. Aliment.**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 43-46, jan./mar. 2004.
- Martin, M. Meat curing technology. In: Hui, Y.H. **Meat Science Applications**. New York: Marcel Dekker Incorporated, 2001. p. 491-505.
- Medynski, A.; Pospiech, E.; Kniat, R. Effect of various concentrations of lactic acid and sodium chloride on selected physico-chemical meat traits. **Meat Science**, v. 55, p. 285-290, 2000.
- Moiseev, I.V.; Cornforth, D.P. Sodium hydroxide and sodium tripolyphosphate effects on bind strength and sensory characteristics of restructured beef rolls. **Meat Science**, v. 45, p. 53-60, 1997.
- Pietrasik, Z.; Shand, P.J. The effect of quantity and timing of brine addition on water binding and textural characteristics of cooked beef rolls. **Meat Science**, v. 65, p. 771-778, 2003.
- Townsend, W.E.; Olson, D.G. Las carnes curadas y su procesado. In: Price, J.F.; Schweigert, B. **Ciencia de La Carne y de Los Productos Carnicos**. Zaragoza: Acribia, 1994. p. 393-455.
- Varnam, A.H.; Sutherland, J.P. **Meat and meat products: technology, chemistry and microbiology**. London :Chapman & Hall ,1995.

### 4.2.3 Experimentos em escala industrial

Foram realizados experimentos com aumento de escala, a partir dos resultados obtidos pelo planejamento fatorial  $2^3$  estudado, onde se verificou que as menores perdas no cozimento foram obtidas quando a quantidade de salmoura foi reduzida a 12% e com tempo de cura de 2 h. O parâmetro implantado foi a redução da quantidade de salmoura a 12%, por apresentar menores perdas no cozimento e ser um parâmetro de fácil implantação. A redução da quantidade de salmoura representa uma considerável economia para indústria, que produz grandes quantidades diárias de produtos curados. Estes experimentos foram realizados em triplicata.

Os resultados obtidos em escala industrial estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Perda de peso no cozimento para peito de frango em escala industrial, utilizando redução em 15% da quantidade de salmoura no tambeamento e cura.

	12% de salmoura	15% de salmoura
	34,7	37,2
Perda no cozimento (%)	36,7	38,1
	33,3	36,8
Média	34,9±1,7	37,4±0,66

Verifica-se que os resultados obtidos em escala piloto se reproduziram no aumento de escala. Foi alcançado um aumento no rendimento de 3,99% quando utilizada menor quantidade de salmoura. Indicando que a implantação deste parâmetro realmente aumenta os rendimentos no cozimento sem alterar as características físico-químicas e sensoriais do produto. Estes resultados são de grande importância econômica para a indústria, pois a redução da quantidade de salmoura, além de aumentar os rendimentos no cozimento, levam à economia de ingredientes, sendo representativo em escala industrial.

### 4.3 AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ESTIRAMENTO E DA POSIÇÃO DAS PEÇAS NA PERDA DE SALMOURA E PERDAS NO COZIMENTO

A Tabela 12 apresenta os resultados de perda de salmoura do peito de frango na etapa de estiramento. Amostragem foi realizada segundo o item 3.3.

Tabela 12 - Influência da disposição dos peitos de frango na esteira e do tipo de esteira na perda de salmoura no processo de estiramento.

Lado da peça	Esteira	Peso antes do estiramento (kg)	Peso após o estiramento (kg)	Perda de salmoura (%)
cima	corrugada	1,85	1,82	1,38
baixo	corrugada	1,86	1,83	1,48
cima	lisa	1,59	1,57	1,16
baixo	lisa	2,25	2,21	1,63
aleatório	corrugada	1,63	1,60	1,76

Verificou-se que a menor perda de salmoura ocorreu quando as peças foram dispostas na estiradeira com a pele virada para cima e com a simulação da esteira superior lisa. A perda de salmoura no estiramento diminuiu em 0,6% quando utilizada a esteira superior da estiradeira lisa, e os peitos de frango virados com a película para cima, comparando com o processo padrão (peça virada aleatoriamente na estiradeira e esteira corrugada). Isto pode ter ocorrido devido a menor pressão sofrida nas regiões que existiam as ranhuras, fazendo com que diminuísse a saída da salmoura.

A Figura 5 apresenta a interação entre a posição do peito de frango na entrada da estiradeira e o tipo de esteira utilizada (lisa ou corrugada), na perda de salmoura no processo de estiramento.

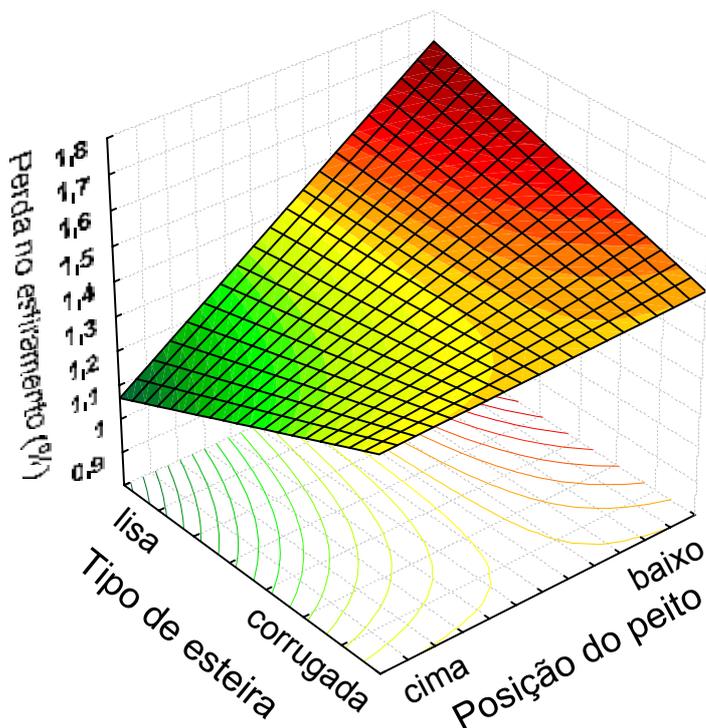


Figura 5 - Interação entre a posição do peito de frango na entrada da esteira e o tipo de esteira utilizada na perda de salmoura no estiramento.

Na Figura 5, observa-se que, com a utilização dos efeitos combinados da utilização da esteira lisa aliada aos peitos de frango virados para cima, obtiveram-se as menores perdas de salmoura no estiramento.

Na Tabela 13 são mostradas as perdas de peso no cozimento em função da esteira utilizada no estiramento e da posição de entrada das peças neste equipamento. Verifica-se que os maiores rendimentos no cozimento foram obtidos quando utilizada esteira superior da esteira lisa e com os peitos de frango virados com a película para cima.

Tabela 13 - Perda de peso no cozimento em função dos diferentes processos de estiramento.

Lado da peça	Esteira	Peso antes do cozimento (kg)	Peso após o cozimento (kg)	Perda de peso (%)	Rendimento (%)
cima	corrugada	1,65	1,10	34,26	65,74
baixo	corrugada	1,79	1,17	34,63	65,37
cima	lisa	2,16	1,42	33,33	66,67
baixo	lisa	2,21	1,43	35,29	64,71

Foram encontrados rendimentos proporcionais de 1,98% no cozimento quando comparado o uso da esteira lisa e peitos de frango virados para cima com esteiras corrugadas e peitos virados para baixo. E rendimentos proporcionais de 1,41% quando comparado o uso de esteira lisa com esteiras corrugadas, ambas com os peitos virados para cima.

A Figura 6 apresenta a interação entre a posição do peito de frango na entrada da estiradeira e o tipo de esteira utilizada, na perda de peso no cozimento.

Observa-se na Figura 6 que as menores perdas no cozimento ocorreram quando utilizada a esteira lisa na parte superior da estiradeira, juntamente com os peitos de frango virados para cima no estiramento, demonstrando a interação entre estes efeitos. Isto pode ter ocorrido devido ao menor rompimento das fibras da carne quando empregada a esteira lisa. Os peitos virados para cima, ou seja, com a película voltada para esteira lisa, fez com que esta estrutura não se rompesse, dificultando a saída de água que foi incorporada ao produto, conseqüentemente diminuindo as perdas no cozimento.

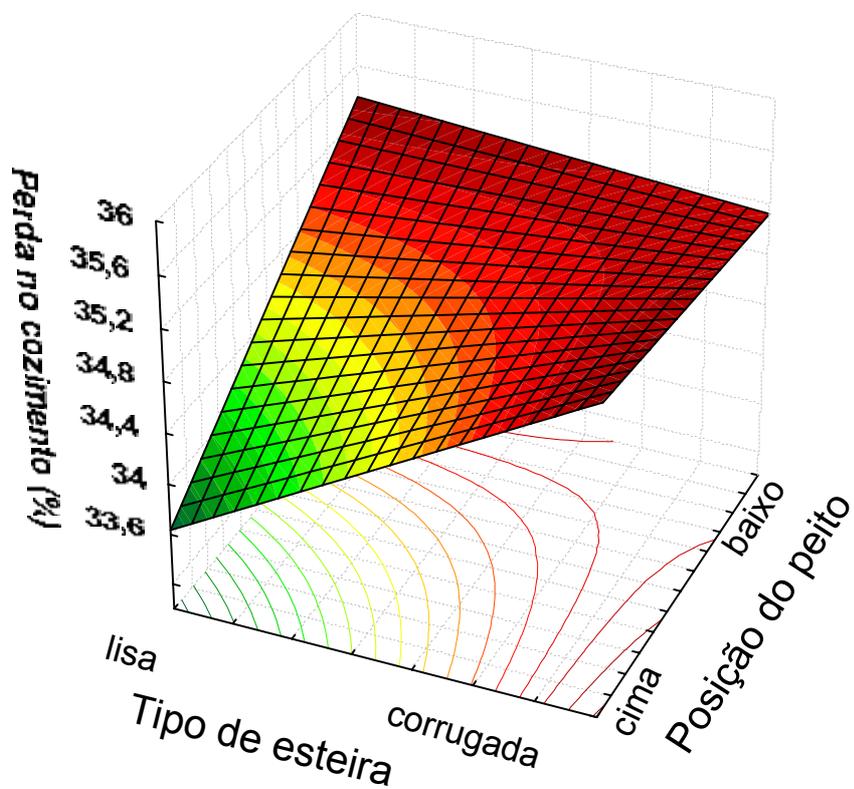


Figura 6 - Interação entre a posição do peito de frango na entrada da esteira e o tipo de esteira utilizada na perda no cozimento.

Estes resultados são de grande importância econômica para a indústria, pois estes incrementos nos rendimentos são representativos quando se trabalha em escala industrial.

#### 4.4 INFLUÊNCIA DA ALTURA DE EMPILHAMENTO NA PERDA DE SALMOURA DURANTE A CURA

Foram realizados experimentos para avaliar a influência da altura de empilhamento dos peitos de frango na perda de salmoura durante o período de cura.

Na Tabela 14, são apresentados os valores médios da perda de salmoura pelos peitos de frango em intervalos de tempo de 2 horas durante um tempo total de cura de 8 horas. O tubo de 65 cm com divisória, resultando em duas alturas de empilhamento de 32,5 cm, foi o que apresentou menor perda de salmoura, pois a porção inferior do tubo recebia salmoura da porção superior e a pressão sofrida devido à altura de empilhamento, foi menor do que nos demais tubos testados, levando a redução da perda de salmoura.

Tabela 14 - Valores médios das quantidades de salmoura escorrida em função da quantidade de matéria-prima, altura dos leitos e tempo de cura.

Altura (cm)	(g)salmoura/(kg) de maréria- prima em 2h	(g)salmoura/(kg) de maréria- prima em 4h	(g)salmoura/(kg) de maréria- prima em 6h	(g)salmoura/(kg) de maréria- prima em 8h
65*	3,12	3,67	3,86	4,04
65	3,95	4,40	4,67	4,85
55	3,69	4,18	4,39	4,61
45	3,98	4,65	5,05	5,05
35	4,37	5,10	5,46	5,46

\* tubo de 65 cm com divisão na meia altura.

Os resultados podem ser melhor visualizados na Figura 7, que apresenta a quantidade de salmoura exsudada por quantidade de matéria-prima em função da altura de empilhamento e tempo de cura.

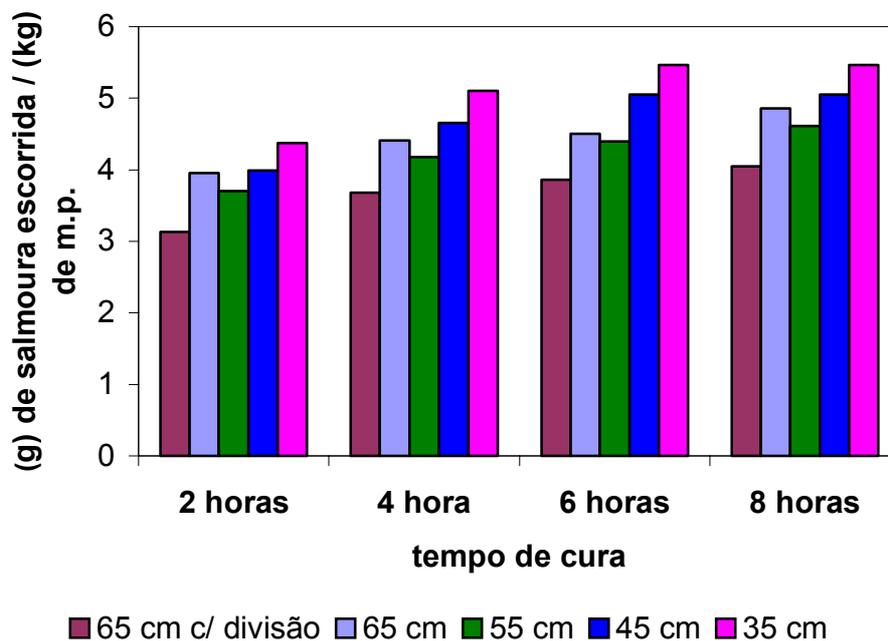


Figura 7 - Evolução das quantidades de salmoura exsudada por quantidade de peito de frango em função da altura dos leitos e tempo de cura.

Verifica-se na Figura 7 que a quantidade de salmoura escorrida aumenta no decorrer do tempo de cura, indicando que o ideal para haver maior retenção de salmoura seria utilizar baixos tempos de cura, além de representar vantagens econômicas em termos de espaço físico e gasto de energia, e maior flexibilidade de produção, como já discutidas no item 4.1.2.

A Tabela 15 apresenta os rendimentos no cozimento para as alturas de empilhamento de 65 cm com e sem divisão no tubo de acondicionamento dos peitos de frango.

Tabela 15 - Rendimentos médios proporcionais no cozimento de peito de frango quando utilizada altura de empilhamento de 65 cm e meia altura de empilhamento, e a comparação nos rendimentos entre estas alturas de empilhamento.

Altura (cm)	Peso antes cozimento (kg)	Peso após cozimento (kg)	Rendimento (%)
65	5,39	3,41	36,80
65 c/divisão	5,37	3,32	38,17
65 c/ divisão p/ 65 s/ divisão	-	-	3,72

Observa-se na Tabela 15 que o tubo com altura dividida no meio apresentou maiores rendimentos no cozimento, em relação ao tubo que simulou a altura dos contentores de 65 cm sem divisória. Indicando que a maior quantidade de salmoura que foi incorporada no processo de cura influenciou nos rendimentos no cozimento. Este resultado é de grande importância, uma vez que maiores rendimentos no cozimento representam maior quantidade de produto acabado no final do processo, e em se tratando de um produto de alto valor agregado rendimentos de 3,72% são importantes, principalmente em nível de escala industrial.

#### **4.5 RENDIMENTO EM FUNÇÃO DA FORMA DE POSICIONAMENTO DO PEITO DE FRANGO**

Foram realizados experimentos para verificar a influência da película que abrange a parte superior do peito de frango, no cozimento.

A Tabela 16 apresenta os resultados de perda no cozimento e os rendimentos em função do posicionamento dos peitos de frango na entrada do forno.

Tabela 16 - Influência da posição do peito de frango na entrada do forno na perda de peso e rendimentos no cozimento.

Lado da peça	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Perda no cozimento (%)	Rendimento (%)
Virada p/ cima	2,45	1,68	30,96	69,04
Virada p/ baixo	2,75	1,84	32,91	67,09

Verifica-se que os maiores rendimentos foram obtidos quando os peitos de frango foram colocados na entrada do forno com a película voltada para cima, apresentando um rendimento proporcional de 2,90% quando comparado aos peitos colocados com a película virada para baixo no cozimento. Isto pode ser devido a uma proteção pela película do peito de frango que ajuda a evitar a saída de água que está ligada à fibra muscular. A parte contrária a esta película corresponde à parte inferior do peito de frango, ou seja, a que sofreu o corte na etapa de desossa, estando com maiores rompimentos na estrutura.

## CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O objetivo deste trabalho foi otimizar o processo de produção de peito de frango, visando reduzir as perdas durante o processamento e a perda de peso durante o cozimento. Estudou-se a adequação do volume de salmoura adicionada no tampleamento, o tempo de tampleamento e de cura do produto, as perdas de salmoura na cura e no estiramento, a perda de peso no cozimento, e foi avaliada a cinética de cura para peito de frango.

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- O tempo de maturação da matéria-prima não influenciou nas perdas de peso no cozimento, nem nas características sensoriais do peito de frango, indicando a possibilidade de determinar um tempo mínimo de maturação;
- Os melhores rendimentos durante o cozimento foram obtidos utilizando quantidade de salmoura de 12% e tempo de cura de 2 h, onde se observou rendimentos proporcionais de até 4,21% quando comparado com o tratamento utilizando 15% de salmoura e 7 h de cura. Em se tratando de processamento em nível industrial, acredita-se que os percentuais de rendimento alcançados têm relevância econômica, além de se obter a diminuição do tempo de processo, de gastos com energia, economia de salmoura, de utilização de menor espaço físico para estocagem da matéria-prima curada, e maior flexibilidade de produção;
- As análises físico-químicas e sensoriais indicaram que a utilização de menor quantidade de salmoura (12%) e tempo de cura de 2 h não alteraram as características sensoriais do produto final, quando comparadas às demais condições estudadas;
- A redução da quantidade de salmoura adicionada no processo levou a menores perdas no processo de cozimento, tendo reprodutibilidade em nível industrial,

onde se obtiveram rendimentos no cozimento de 3,99%, quando utilizado 12% de salmoura ao invés de 15% de salmoura em relação à matéria-prima;

- A utilização de uma esteira lisa na parte superior da estiradeira e do peito de frango com a película voltada para cima reduziram as perdas de salmoura no estiramento em 0,6%, comparando com o processo utilizando as peças viradas aleatoriamente na estiradeira e esteira corrugadas. Os maiores rendimentos no cozimento também foram obtidos quando utilizadas estas condições, os rendimentos aumentaram em até 1,98%, indicando um menor rompimento das fibras musculares do peito de frango. Estes resultados são de grande importância econômica para a indústria, pois estes incrementos nos rendimentos são bastante representativos quando se trabalha em escala industrial;

- A redução da altura de empilhamento pela metade resultou em menores perdas de salmoura durante a cura, demonstrando a influência da pressão neste parâmetro. A quantidade de salmoura escorrida aumenta no decorrer do tempo de cura, indicando que o ideal para haver maior retenção de salmoura seria utilizar baixos tempos de cura. A utilização da divisão da altura de empilhamento, de 65 cm para 32,5 cm, resultou em maiores rendimentos proporcionais no cozimento (3,72%);

- A posição do peito de frango na entrada do forno apresentou influência nos rendimentos no cozimento. Os maiores rendimentos foram obtidos quando os peitos de frango foram colocados na entrada do forno com a película voltada para cima, apresentando um rendimento proporcional de 2,90% quando comparado aos peitos colocados com a película virada para baixo no cozimento;

- Concentrações de cloreto de sódio de 6%, fosfato de 3% e dextrose de 4%, aliadas a temperatura de cura de 5°C, apresentaram efeito positivo no ganho de peso na cura e no rendimento no cozimento para peito de frango. O maior ganho

de peso observado foi de 15,27% e a menor perda no cozimento foi de 15,98%, quando utilizada as condições citadas;

- Soluções de cloreto de sódio, fosfato e dextrose mostraram serem adequadas para o tratamento osmótico de peito de frango. As taxas de difusão de cloreto de sódio ficaram entre  $8.99 \times 10^{-10}$  e  $9.55 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. A maior taxa de difusão de cloreto de sódio foi obtida quando utilizadas concentrações de cloreto de sódio de 6%, de fosfato de 1% e de dextrose de 4%, e temperatura de cura de 5°C. E a menor taxa de difusão de cloreto de sódio foi obtida quando utilizada menor concentração inicial deste componente;

- O emprego da solução analítica da segunda lei de Fick apresentou um bom ajuste aos dados experimentais, uma vez que as curvas modeladas apresentaram baixos valores de MSE.

Baseado nos resultados apresentados é possível fazer algumas sugestões de estudo:

- Realizar experimentos em escala industrial diminuindo o tempo de cura do peito de frango;

- Realizar experimentos em escala industrial substituindo a esteira corrugada da estiradeira por uma esteira lisa, no processo de estiramento, colocando os peitos com a película voltada para cima, tanto no estiramento como no cozimento;

- Estudar a influência de outros componentes de cura, e outras concentrações no ganho de peso na cura, nos rendimentos no cozimento e sua influência na cinética de cura;

- Realizar experimentos aplicando todos os efeitos positivos obtidos nas diferentes etapas do processo de peito de frango cozido.

## CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGO, **Estatísticas, 2003**. Disponível em: <http://www.abef.com.br>. Acesso em novembro de 2004.

ABERLE, E.D.; FORREST, J.C., GERRARD, D.E.; MILLS, E.W.; HEDRICK, H.B.; JUDGE, M.D.; MERKEL, R.A. **Principles of Meat Science**. 4Ed, Dubuque: Kendall/Hunt Publishing, 2001.

AGUILERA, J.M.; CHIRALT, A.; FITO, P. Food dehydration nas product structure. **Trends in Food Science e Technology**, v. 14, p. 432-437, 2003.

A.O.A.C - Association of Oficial Agricultural Chemists. **Official methods of analysis**. 11 ed. Washington. D.C. 1141, 1990.

ALDEA, M.J.A. **Calidad de la carne em canales ovinas ligeras espoñolas y de la importación**. Tese de Doutorado. Universidad de Zaragoza, Espanha, 1995.

AZUARA, E.; BERISTAIN, C.I.; GUTIÉRREZ, G.F.A method for continuous kinetic evaluation of osmotic dehydration. **LWT – Food Science and Technology**, v. 31, p. 317-321, 1998.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 1996.

BOLES, J.A.; SWAN, J.E. Effects of brine ingredients and temperature on cook yields and tenderness of pré-rigor processed roast beef. **Meat Science**, v. 45, p. 87-97, 1997.

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; HUNTER, J.S. **Statistics For Experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building**. New York: Jonh Wiley & Sons, 1978.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Métodos Analíticos Físico-Químicos para Controle de produtos Cárneos e seus Ingredientes: Sal e Salmoura**. Brasília, 1999.

CAC (Codex Alimentarius Commission). FAO/WHO **Codex sampling plans for prepackaged foods (AQL 6.5)**. CODEX STAN 233, Appendix I, -1969.

CHEN, H.; MARKS, B.P.; MURPHY, R.Y. Modeling coupled heat and mass transfer for convection cooking of chicken patties. **Journal of Food Engineering**, v. 42, p. 139-146, 1999.

CHEN, T.C. Studies on the marinating of chicken parts for deepfat frying. **Journal of Food Science**, v. 47, p. 1016-1017, 1982.

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.

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. Osmotic dehydration kinetics of sardine sheets using Zugarramurdi and Lupín model. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 51-56, 2005.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2 ed. Oxford: Clarendon, p. 414, 1975.

CUNNINGHAM, F.E.; BOWERS, J.A.; CRAIG, J.; MOORE, A.M.; FRONING, G.W. Composition and sensory characteristics of hot-boned, tumbled, turkey breast muscle. **Journal of Food Quality**, v. 11, p. 225-233, 1988.

DENADAI, J.C.; MENDES, A.A.; GARCIA, R.G.; ALMEIDA, I.C.L.; MOREIRA, J.; TAKITA, T.S.; PAVAN, A.C.; GARCIA, E.A. Efeito da duração do período de jejum pré-abate sobre rendimento de carcaça e a qualidade da carne do peito de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 4, n. 2, 101-109, mai./jun. 2002.

DJELVEH, G.; GROS, J.B.; EMAM-DJOMEH, Z. Osmotic dehydration of foods in a multicomponent solution. Part II – water loss and solute uptake in agar gels and meat. **LWT – Food Science and Technology**, v. 34, p. 319-323, 2001.

DZUDIE, T.; OKUBANJO, A. Effects of rigor state and tumbling time on quality of goat hams. **Journal of Food Engineering**, v. 42, p. 103-107, 1999.

FIRSTENBERG-EDEN, R., ROWLEY, D.B., STATTUCK, G.E. Inhibition of *Moraxella acinetobacter* cells by sodium phosphates and sodium chloride. **Journal of Food Science**, v. 46, p. 579– 582, 1981.

GARCIA, R.G., MENDES, A.A., GARCIA, E.A., NÄÄS, I.A., MOREIRA, J., ALMEIDA, I.C.L., TAKITA, T.S. Efeito da densidade de criação e do sexo sobre o empenamento, incidência de lesões na carcaça e qualidade da carne de peito de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 4, n.1, 001-009, jan./apr. 2002.

GARIBALDI, J.A., IJICHI, K., BAYNE, H.G. Effect of pH and chelating agents on the heat resistance and viability of *Salmonella typhimurium* Tm-1 and *Salmonella senftenberg* 775W in egg white. **Applied Microbiology**, v. 18, p. 318– 322, 1969.

GATCHALIAN, M.M. **Sensory Evaluation Methods with Statistical Analysis (For Research, Product Development and Quality Control)**. Philippines: University of the Philippines, 1981.

GIL, M.; GUERRERO, L.; SÁRRAGA, C. The effect of meat quality, salt and ageing time on biochemical parameters of dry-cured *Longissimus dorsi* muscle. **Meat Science**, v. 51, p. 329-337, 1999.

GOU, P.; COMAPOSADA, J.; ARNAU, J. Cloreto de sódio content and temperature effects on moisture diffusivity in the *Gluteus medius* muscle of pork ham. **Meat Science**, v. 63, p. 29-34, 2003.

HAWKES, J.; FLINK, J.M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.2, p. 265-284, 1978.

HONGSPRABHAS, P.; BARBUT, S. Effect of pre-heated whey protein level and salt on texture development of poultry meat batters. **Food Research International**, v. 32, p. 145-149, 1999.

HOUBEN, J.H.; TJEERDSMA-VAN BOKHOVEN, J.L.M. Growth inhibition of heat-injured *Enterococcus faecium* by oligophosphates in a cured meat model. **International Journal of Food Microbiology**, v. 97, p. 85-91, 2004.

HULLBERG, A.; LUNDSTRÖM, K. The effects of RN genotype and tumbling yield in cured-smoked pork loins. **Meat Science**, v. 67, p. 409-419, 2004.

HULTIN, H.O. Características del Tejido Muscular. In: FENNEMA, O.R. **Química de los Alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1993. 815-881.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo, S.P.) **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3 ed. São Paulo: O Instituto, p. 533, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Indicadores: Produção Pecuária 2004**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em dezembro de 2004.

JIMENEZ-VILLARREAL, J.R.; POHLMAN, F.W.; JOHNSON, Z.B.; BROWN, A.H.J. Effects of chlorine dioxide, cetylpyridinium chloride, lactic acid and trisodium phosphate on physical, chemical and sensory properties of ground beef. **Meat Science**, v. 65, p. 1055-1062, 2003.

JUDGE, M.D.; ABERLE, E.D.; FORREST, J.C.; HEDRICK, H.B.; MERKEL, R.A. **Principles of Meat Science**. 2 ed. Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company, 1989.

KALIL, S.J.; MAUGERI, F.; RODRIGUES, M.I. Response surface analysis and simulation as a tool for bioprocess design and optimization. **Process Biochemistry**, v. 35, p. 539-550, 2000.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; SULTANOGLU, M. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, v. 46, p. 243-250, 2000.

KHURI, A.I.; CORNELL, J.A. **Response surfaces. Design and analyses**. New York: Marcel Dekker Incorporated, 1987.

KRAMLICH, W.E.; PEARSON, A.M.; TAUBER, F.W. **Processed Meats**. Connecticut: The Avi Publishing Company, 1973.

LAWRENCE, T.E., DIKEMAN, M.E., HUNT, M.C., KASTNER, C.L., JOHNSON, D.E. Staged injection marination with calcium lactate, phosphate and salt may improve beef water-binding ability and palatability traits. **Meat Science**, v. 65, p. 967-972, 2003.

LAWRIE, R.A. **Meat science**. 4Ed. New York: Pergamon, 1985.

LAZARIDES, H.N.; GEKAS, V.; MAVROUDIS, N. Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. **Journal of Food Engineering**, v. 31, p. 315-324, 1997.

LEMOS, A.L.S.C. Marinação e empanamento. **Avicultura Industrial**, Campinas. Disponível em:  
<http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/dinamica.asp?id=203>. Acesso em maio de 2004.

LEMOS, A.L.S.C.; NUNES, D.R.M.; VIANA, A.G. Estudos para otimização do processo de obtenção de marinados por imersão. In.: Congresso Iberoamericano de Engenharia de Alimentos, II, 1998, Bahía Blanca.

LEMOS, 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.

LEONHARDT, C.; SANTOS, H.C.P.; MARCZAK, L.D.F.; ZAPATA-NOREÑA, C.P. Otimização do cozimento de filé de frango empanado em forno de injeção direta de vapor. **Cienc. Tecnol. Aliment.**, v. 24, n. 1, p. 43-46, jan./mar. 2004.

LINDSAY, R.C. Aditivos Alimentarios. In: FENNEMA, O.R. **Química de los Alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1993. 709-767.

MARCOTTE, M.; TOUPIN, C.J.; LE MAGUER, M. Mass transfer in cellular tissues. Part I: The mathematical model. **Journal of Food Engineering**, v. 13, p. 199-220, 1991.

MARTIN, M. Meat curing technology. In: Hui, Y.H. **Meat Science Applications**. New York: Marcel Dekker Incorporated, 2001. p. 491-505.

MEDYNSKI, A.; POSPIECH, E.; KNIAT, R. Effect of various concentrations of lactic acid and sodium chloride on selected physico-chemical meat traits. **Meat Science**, v. 55, p. 285-290, 2000.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. 3Ed. New York: CRC Press, 1999.

MÖHLER, K. **El ahumado**. Zaragoza:ACRIBIA, 1980.

MOISEEV, I.V.; CORNFORTH, D.P. Sodium hydroxide and sodium tripolyphosphate effects on bind strength and sensory characteristics of restructured beef rolls. **Meat Science**, v. 45, p. 53-60, 1997.

MOLINS, R.A., KRAFT, A.A., OLSON, D.G., HOTCHKISS, D.K. Recovery of selected bacteria in media containing 0.5% food grade poly- and pyrophosphates. **Journal of Food Science**, v. 49, p. 948– 949, 1984.

MURPHY, M.A.; ZERBY, H.N. prerigor infusion of lamb with sodium chloride, phosphate, and dextrose solutions to improve tenderness. **Meat Science**, v. 66, p. 343-349, 2004.

NIINIVAARA, F.P.; ANTILA, P. **Valor nutritivo de la Carne, Teoria y Pratica**. Zaragoza: Acribia, 1973.

OLMOS, A.; TRELEA, I.C.; POLIGNÉ, I.; COLLIGNAN, A.; BROYART, B.; TRYSTRAM, G. Optimal operating conditions calculation for a pork meat dehydration-impregnation-soaking process. **LWT – Food Science and Technology**, v. 37, p. 763-770, 2004.

PARDI, M.C; SANTOS, I.F.; SOUZA, E.R.; PARDI, H.S. **Ciência e Higiene da Carne. Tecnologia de Sua Obtenção e Transformação**. 1ed. Niteroi: EDUFF, 1995.

PEARSON, A.M.; GILLET, T.A. **Processed meats**. New York: Chapman & Hall, 1996.

PIETRASIK, Z.; SHAND, P.J. The effect of quantity and timing of brine addition on water binding and textural characteristics of cooked beef rolls. **Meat Science**, v. 65, p. 771-778, 2003.

POLIGNÉ, I.; BROYART, B.; TRYSTRAM, G.; COLLIGNAN, A. Prediction of mass-transfer kinetics and product quality changes during a dehydration-impregnation-soaking process using artificial neural networks. Application to pork curing. **LWT – Food Science and Technology**, v. 35, p. 748-756, 2002.

POST, R.C.; HEATH, J.L. Marinating broiler parts: the use of a viscous type marinade. **Poultry Science**, v. 41, p. 977-984, 1983.

PRÄNDL, O.; FISCHER, A.; SCHMIDHOFER, T.; SINELL, H.J. **Tecnología e Higiene de la Carne**. Zaragoza: Acribia, 1994.

RESURRECCION, A.V.A. Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. **Meat Science**, v. 66, p. 11-20, 2003.

RUUSUNEN, M.; VAINIONPÄÄ, J.; LYLÄ, M.; LÄHTEENMÄKI, L.; NIEMISTÖ, M.; AHVENAINEN, R.; PUOLANNE, E. Reducing the sodium content in meat products: The effect of the formulation in low-sodium ground meat patties. **Meat Science**, v. 69, p. 53-60, 2005.

SHAHIDI, F.; SYNOWIECKI, J. Protein hydrolyzates from seal meat as phosphate alternatives in food processing applications. **Food Chemistry**, v. 60, n. 1, p. 29-32, 1997.

SHELEF, L.A., WANG, Z.L., UDEOGU, A.C. Growth of *Staphylococcus aureus* and enterotoxin A production in foods containing polyphosphates. **Journal of Food Safety**, v. 10, p. 201-208, 1990.

SPIAZZI, E.; MASCHERONI, R. Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables. I – development of the simulation model. **Journal of Food Engineering**, v. 34, p. 387-410, 1997.

TEIXEIRA, M.B.F.; TOBINAGA, S. A diffusion model for describing water transport in round squid mantle during drying with a moisture-dependent effective diffusivity. **Journal of Food Engineering**, v. 36, p. 169-181, 1998.

TELIS, V.R.N.; MURARI, R.C.B.D.L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v.61, p. 253-259, 2004.

TELIS, V.R.N.; ROMANELLI, P.F.; GABAS, A.L.; ROMERO, J.T. Salting kinetics and salt diffusivities in farmed Pantanal caiman muscle. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 529-535, 2003.

TOWNSEND, W.E.; OLSON, D.G. Las carnes curadas y su procesado. In: PRICE, J.F.; SCHWEIGERT, B. **Ciencia de La Carne y de Los Productos Carnicos**. Zaragoza: Acribia, 1994. p. 393-455.

TROUT, G.R.; SCHMIDT, G.R. Effect of phosphate type and concentration, salt level and method of preparation on binding in restructured beef rolls. **Journal Food Science**, v.49, p. 687-694, 1984.

VARNAM, A.H.; SUTHERLAND, J.P. **Meat and meat products :technology, chemistry and microbiology**. London :Chapman & Hall ,1995.

VELA'ZQUEZ, L. DEL C., ESCUDERO, M.E., DE GUZMA'N, A.M.S. Antibacterial effects of different food-related phosphates using *Aeromonas hydrophila*. **Journal of Food Protection**, v. 64, p. 195– 200, 2001.

WANG, D.; TANG, J.; 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.

WEINLING, H. **Tecnologia practica de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1973.

YANG, C.C.; CHEN, T.C. Effects of refrigerated storage. pH adjustment, and marinade on color of raw and microwave cooked chicken meat. **Poultry Science**, v.72, p. 355-362, 1993.

YOUNG, O.A.; HUMPHREY, S.M.; WILD, D.J.C. Effects of sugars on post-mortem glycolysis in bovine muscle mince. **Meat Science**, v. 23, p. 211.

## CAPÍTULO VII - ANEXOS

### ANEXO I – SUPERFÍCIES DE RESPOSTA

Estão apresentadas a seguir as superfícies de respostas citadas no capítulo Resultados e Discussão.

A Figura 8 apresenta a superfície de resposta para os efeitos concentração de fosfato e concentração de cloreto de sódio no ganho de peso no processo de cura para peito de frango. A Figura 9 apresenta a superfície de resposta para os efeitos concentração de dextrose e concentração de cloreto de sódio no ganho de peso no processo de cura para peito de frango. A Figura 10 ilustra a superfície de resposta que relaciona os efeitos da concentração de dextrose e da concentração de fosfato no ganho de peso no processo de cura para peito de frango. A Figura 11 ilustra a superfície de resposta para os efeitos concentração de cloreto de sódio e temperatura de cura no ganho de peso no processo de cura para peito de frango. A Figura 12 apresenta a superfície de resposta para os efeitos concentração de dextrose e concentração de cloreto de sódio na perda de peso no cozimento para peito de frango. A Figura 13 ilustra a superfície de resposta para os efeitos concentração de dextrose e concentração de fosfato na perda de peso no cozimento para peito de frango. A Figura 14 apresenta a superfície de resposta para os efeitos concentração de cloreto de sódio e temperatura de cura na perda de peso no cozimento para peito de frango. A Figura 15 ilustra a superfície de resposta para os efeitos concentração de fosfato e temperatura de cura na perda de peso no cozimento para peito de frango. A Figura 16 ilustra a superfície de resposta para os efeitos concentração de dextrose e temperatura de cura na perda de peso no cozimento para peito de frango.

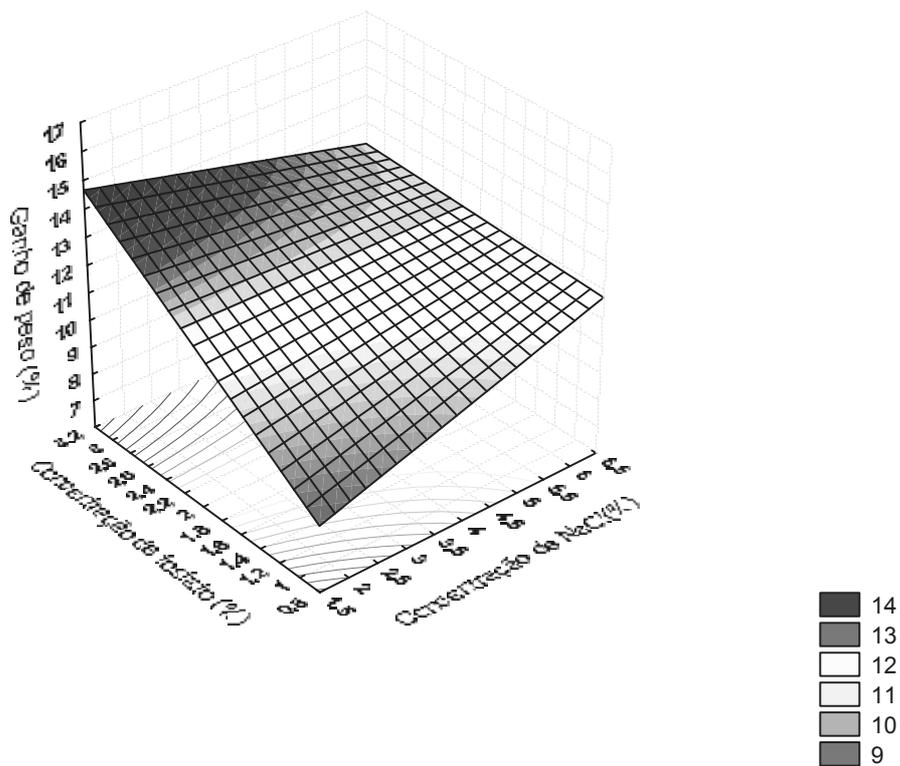


Figura 8 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de fosfato” e “concentração de cloreto de sódio” no ganho de peso no processo de cura para peito de frango (concentração de dextrose fixada em 2% e temperatura de cura em 10°C).

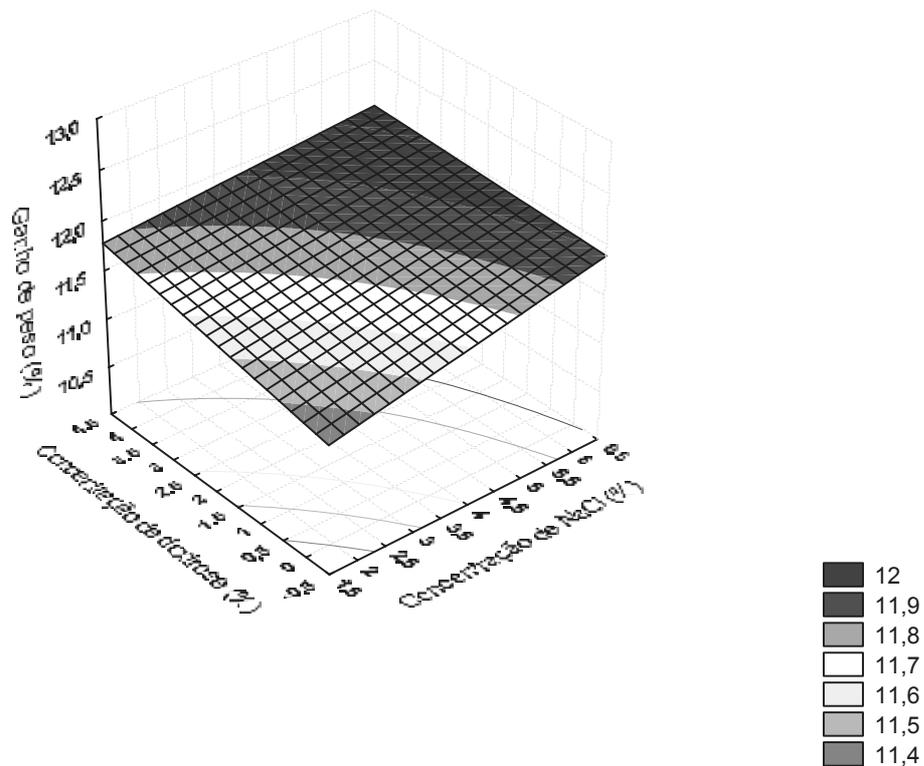


Figura 9 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de dextrose” e “concentração de cloreto de sódio” no ganho de peso no processo de cura para peito de frango (“concentração de fosfato” fixada em 2% e temperatura de cura em 10°C).

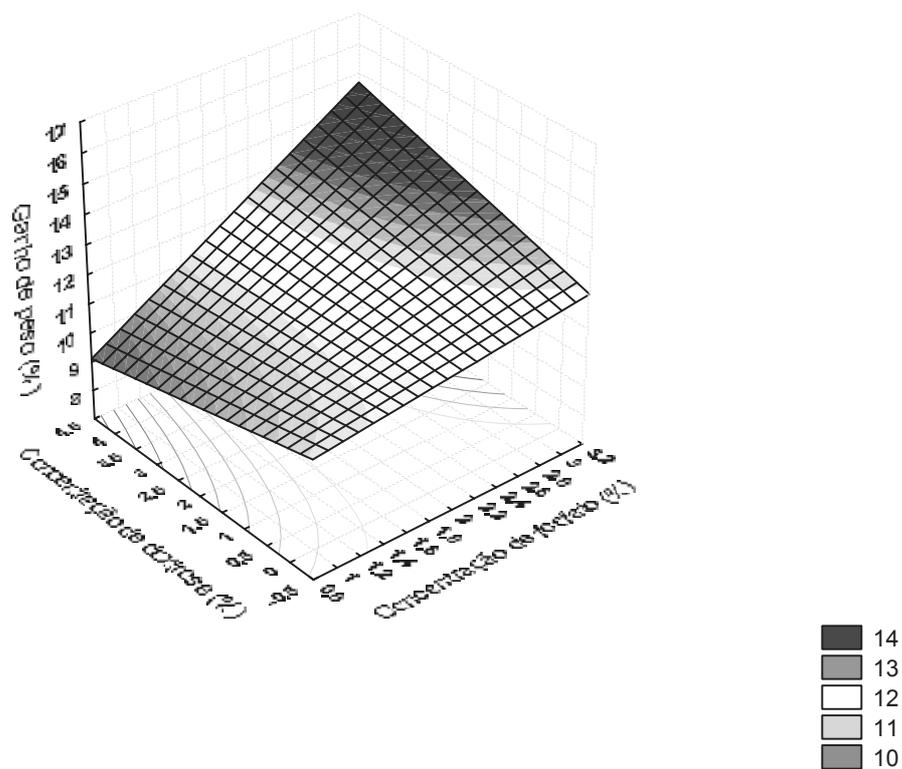


Figura 10 - Superfície de resposta para os efeitos "concentração de dextrose" e "concentração de fosfato" no ganho de peso no processo de cura para peito de frango ("concentração de cloreto de sódio" fixada em 4% e temperatura de cura em 10°C).

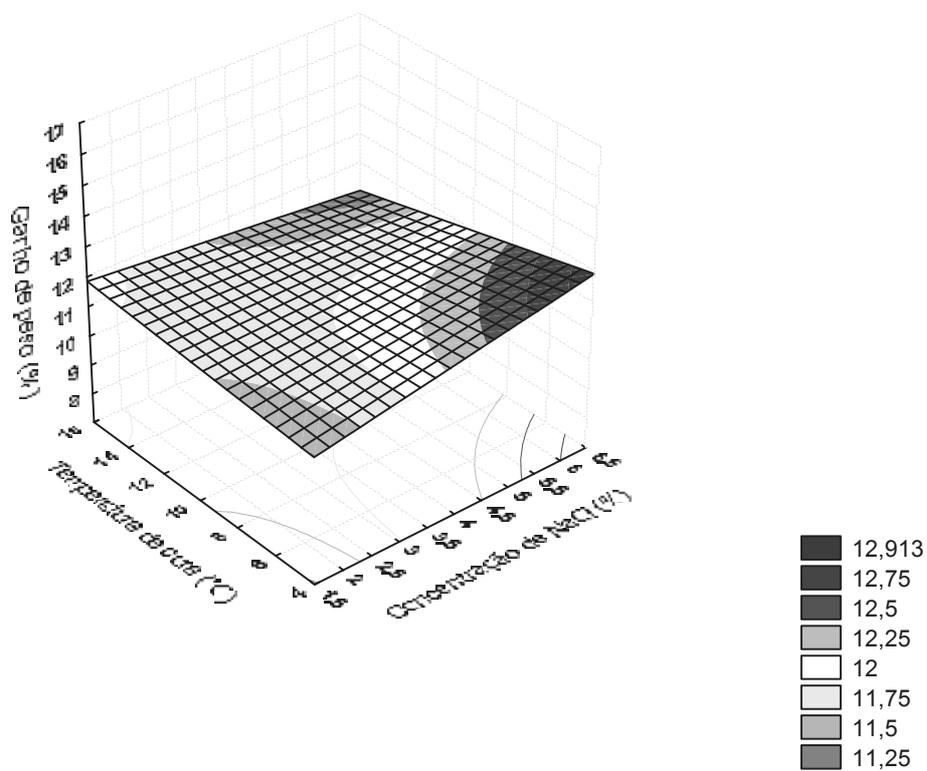


Figura 11 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de cloreto de sódio” e temperatura de cura no ganho de peso no processo de cura para peito de frango (“concentração de fosfato” e dextrose fixadas em 2%).

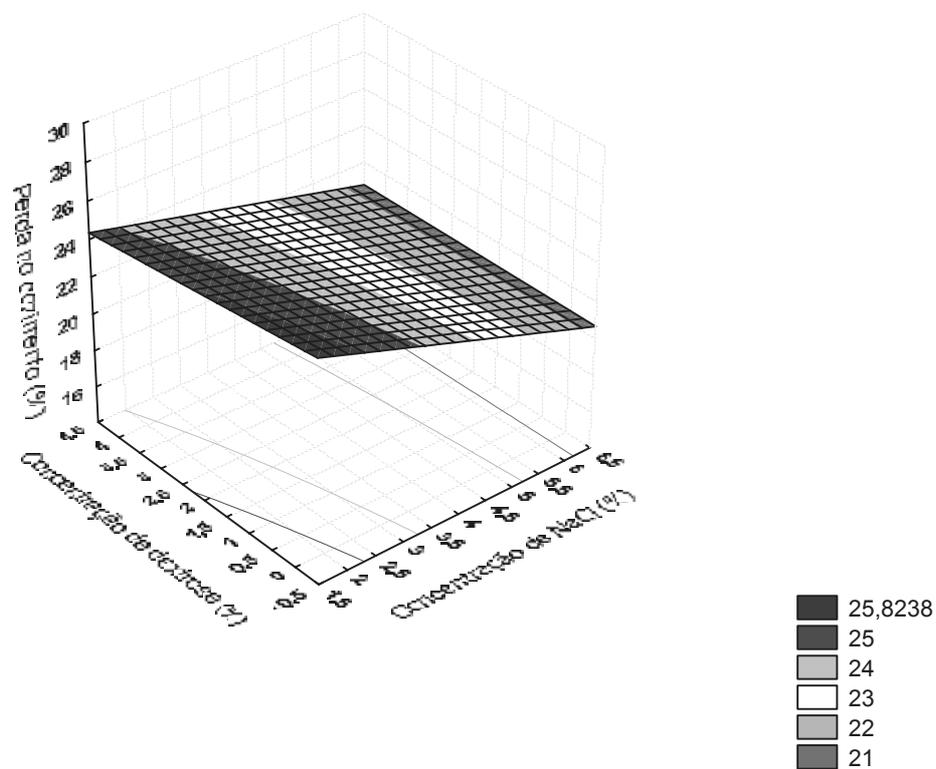


Figura 12 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de dextrose” e “concentração de cloreto de sódio” na perda de peso no cozimento para peito de frango (“concentração de fosfato” fixada em 2% e temperatura de cura em 10°C).

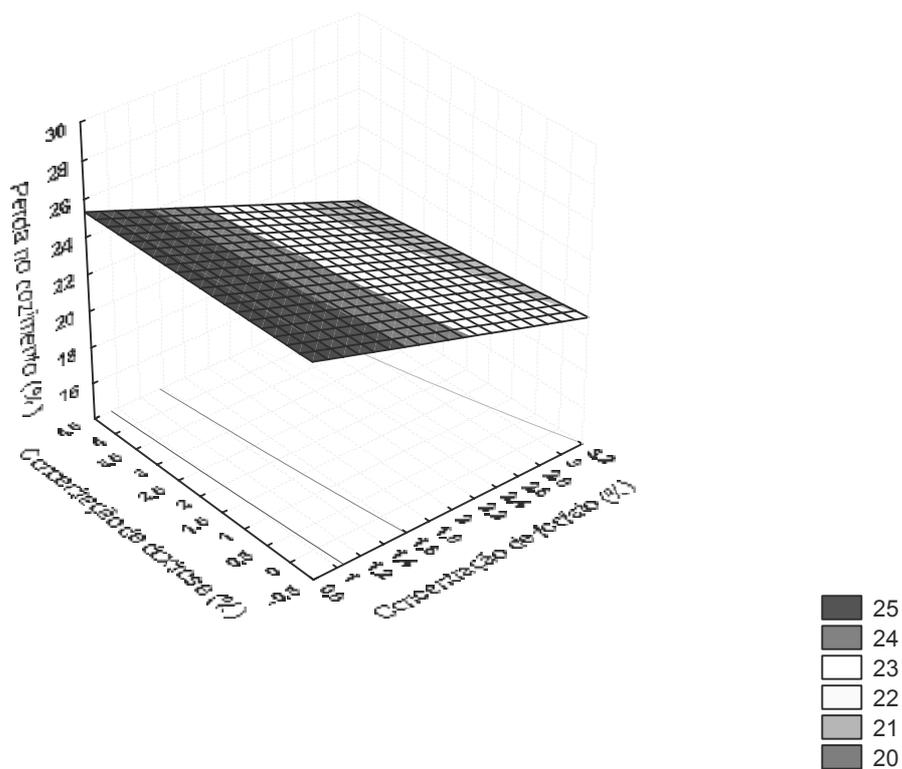


Figura 13 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de dextrose” e “concentração de fosfato” na perda de peso no cozimento para peito de frango (“concentração de cloreto de sódio” fixada em 4% e temperatura de cura em 10°C).

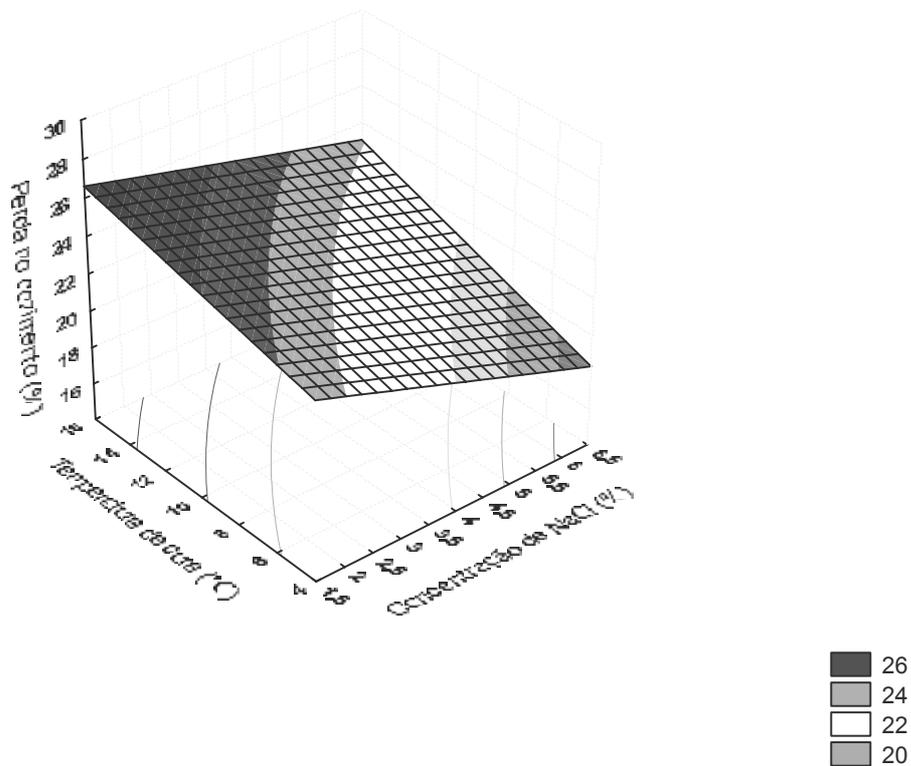


Figura 14 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de cloreto de sódio” e temperatura de cura na perda de peso no cozimento para peito de frango (“concentração de fosfato” e dextrose fixadas em 2%).

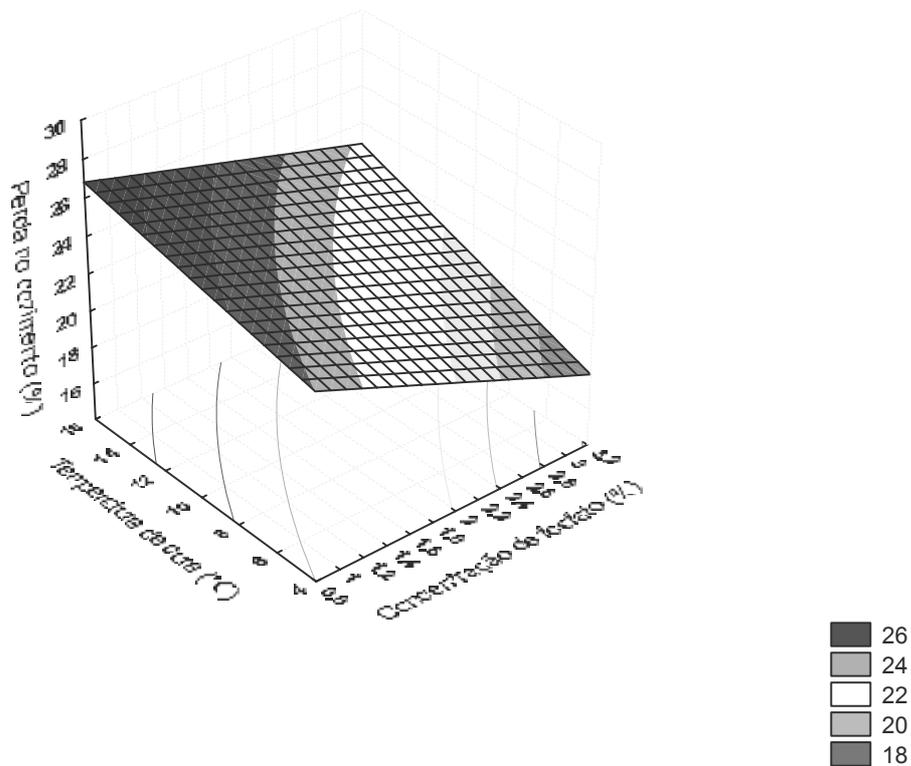


Figura 15 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de fosfato” e temperatura de cura na perda de peso no cozimento para peito de frango (“concentração de dextrose” e de cloreto de sódio fixadas em 2% e 4%, respectivamente).

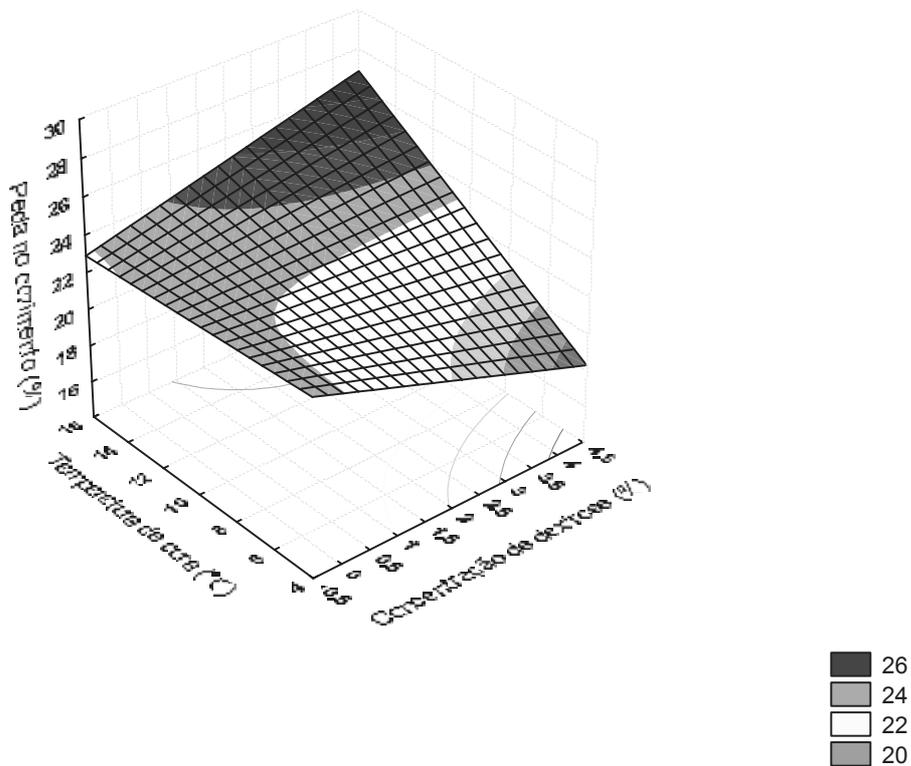


Figura 16 - Superfície de resposta para os efeitos “concentração de dextrose” e temperatura de cura na perda de peso no cozimento para peito de frango (“concentração de fosfato” e de cloreto de sódio fixadas em 2% e 4%, respectivamente).

## **ANEXO II – RESULTADOS CINÉTICA DE CURA – TESTES PRELIMINARES**

Estão apresentados a seguir os resultados das análises físico-químicas de pH e umidade para os experimentos referentes ao planejamento experimental realizado para determinar as condições para o estudo da cinética de cura para peito de frango.

A Tabela 17 apresenta os resultados de pH do peito de frango utilizado, pH das salmouras e pH dos peitos de frango após a cura, e a umidade destes últimos.

Tabela 17 - Resultado das análises físico-químicas para peito de frango em função do tratamento utilizado na cura.

Experimento	pH amostra	pH salmoura	pH após cura	Umidade (%)
2%NaCl, 1%fosfato, 5°C	6,07	8,05	6,18	79,40
6%NaCl, 1%fosfato, 5°C	6,07	7,47	5,77	80,11
2%NaCl, 3%fosfato, 5°C	5,55	8,34	5,86	79,75
6%NaCl, 3%fosfato, 5°C	5,71	7,89	5,74	76,78
2%NaCl, 1%fosfato, 4% dextrose, 5°C	5,55	8,33	5,89	79,43
6%NaCl, 1%fosfato, 4% dextrose, 5°C	5,71	7,80	5,78	73,60
2%NaCl, 3%fosfato, 4% dextrose, 5°C	5,92	8,29	6,26	78,76
6%NaCl, 3%fosfato, 4% dextrose, 5°C	5,90	8,25	6,13	76,98
2%NaCl, 1%fosfato, 15°C	5,79	8,37	5,90	76,22
6%NaCl, 1%fosfato, 15°C	5,59	7,85	5,88	74,50
2%NaCl, 3%fosfato, 15°C	5,85	8,31	6,01	76,49
6%NaCl, 3%fosfato, 15°C	5,69	7,90	5,87	76,81
2%NaCl, 1%fosfato, 4%dextrose, 15°C	5,71	8,26	5,84	73,43
6%NaCl, 1%fosfato, 4%dextrose, 15°C	5,71	7,77	5,82	75,94
2%NaCl, 3%fosfato, 4%dextrose, 15°C	5,80	8,22	5,95	79,44
6%NaCl, 3%fosfato, 4%dextrose, 15°C	5,80	7,87	6,13	74,27
4%NaCl, 2%fosfato, 2%dextrose, 10°C	5,62	8,07	5,88	76,85
4%NaCl, 2%fosfato, 2%dextrose, 10°C	5,62	8,07	5,89	75,80
4%NaCl, 2%fosfato, 2%dextrose, 10°C	5,39	8,00	5,82	78,07
4%NaCl, 2%fosfato, 2%dextrose, 10°C	5,39	8,01	5,69	76,16

### **ANEXO III – RESULTADOS CINÉTICA DE CURA – EFEITO PARA DETERMINAÇÃO DO MODELO**

Para determinação do modelo matemático a ser utilizado para determinação da taxa de difusão de cloreto de sódio no peito de frango, foram determinados alguns parâmetros que pudessem vir a contribuir ao estudo. O resultados destas determinações estão apresentados a seguir. As Tabelas de 18 a 21, apresentam os resultados de absorção de salmoura, espessura inicial e final do peito de frango, densidades da salmoura e do peito de frango no decorrer do processo de cura. Na Tabela 18 a condição de cura estabelecida foi: concentrações de cloreto de sódio de 6%, fosfato de 1% e dextrose de 4%, a temperatura de cura utilizada foi de 5°C. Na Tabela 19 a condição de cura estabelecida foi: concentrações de cloreto de sódio de 2%, fosfato de 3% e dextrose de 4%, a temperatura de cura utilizada foi de 5°C. Na Tabela 20 a condição de cura estabelecida foi: concentrações de cloreto de sódio de 6%, fosfato de 3% e dextrose de 4%, a temperatura de cura utilizada foi de 5°C. Na Tabela 21 a condição de cura estabelecida foi: concentrações de cloreto de sódio de 6%, fosfato de 3% e dextrose de 4%, a temperatura de cura utilizada foi de 15°C.

Tabela 18 - Resultados de absorção de salmoura, espessuras iniciais e finais dos peitos de frango, densidade da salmoura e do peito de frango e concentração de umidade, nos diferentes intervalos de tempo de cura, utilizando concentrações de 2% de cloreto de sódio, 3% de fosfato e 4% de dextrose, e temperatura de 5°C.

$T_i^a$ (h)	Absorção salmoura (%)	Espessura inicial (mm)	Espessura final (mm)	$\rho^b$ salmoura (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho^b$ amostra (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade (%)
0,3	3,62	23,5	*	1,054	1,078	73,47
1	6,51	21,2	*	1,054	1,091	74,69
2	6,87	30,4	*	1,035	1,069	73,06
4	6,94	20,4	*	1,054	1,117	74,85
10	10,39	21,7	22,8	1,053	13,072	*
15	5,19	23,6	23,7	1,049	1,110	73,93
25	10,00	22,3	20,7	1,078	1,020	73,11
45	12,29	28,4	29,4	1,034	1,078	75,72
60	10,91	22,3	27,8	1,032	1,076	77,75

a- tempo de imersão; b- densidade; \* não observado.

Tabela 19 - Resultados de absorção de salmoura, espessuras iniciais e finais dos peitos de frango, densidade da salmoura e do peito de frango e concentração de umidade, nos diferentes intervalos de tempo de cura, utilizando concentrações de 6% de cloreto de sódio, 1% de fosfato e 4% de dextrose, e temperatura de 5°C.

$T_i^a$ (h)	Absorção salmoura (%)	Espessura inicial(mm)	Espessura final(mm)	$\rho^b$ salmoura (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho^b$ amostra (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade (%)
0,3	3,98	25,7	*	1,0307	1,0745	74,73
1	7,53	21,4	*	1,0283	1,0983	76,52
2	5,97	29,2	*	1,0289	1,0592	75,10
4	6,84	25,8	*	1,0409	1,0971	74,63
10	10,25	20,6	21,2	1,0392	1,0638	74,43
15	9,66	22,3	*	1,0185	1,0496	75,34
25	7,66	21,9	20,6	1,0728	1,0285	73,69
45	13,40	26,2	27,5	1,0548	1,0530	75,28
60	12,05	21,4	*	1,0438	1,0900	74,68

a- tempo de imersão; b- densidade; \* não observado.

Tabela 20 - Resultados de absorção de salmoura, espessuras iniciais e finais dos peitos de frango, densidade da salmoura e do peito de frango e concentração de umidade, nos diferentes intervalos de tempo de cura, utilizando concentrações de 6% de cloreto de sódio, 3% de fosfato e 4% de dextrose, e temperatura de 5°C.

$T_i^a$ (h)	Absorção salmoura (%)	Espessura inicial (mm)	Espessura final (mm)	$\rho^b$ salmoura (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho^b$ amostra (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade (%)
0,3	4,38	22,0	*	*	*	74,56
1	7,08	26,7	*	1,0543	1,0675	74,22
2	6,40	21,4	*	1,0425	1,0786	73,29
4	4,38	26,5	*	1,0667	1,0780	73,85
10	11,45	27,1	28,5	1,0579	1,0950	72,85
15	8,13	20,9	*	1,0570	1,0826	73,67
25	9,68	23,7	24,4	1,0876	1,0510	74,29
45	16,03	24,2	24,5	1,0239	1,1145	74,69
60	15,26	23,4	21,5	1,0476	1,1025	73,93

a- tempo de imersão; b- densidade; \* não observado.

Tabela 21 - Resultados de absorção de salmoura, espessuras iniciais e finais dos peitos de frango, densidade da salmoura e do peito de frango e concentração de umidade, nos diferentes intervalos de tempo de cura, utilizando concentrações de 6% de cloreto de sódio, 3% de fosfato e 4% de dextrose, e temperatura de 15°C.

$T_i^a$ (h)	Absorção salmoura (%)	Espessura inicial (mm)	Espessura final (mm)	$\rho^b$ salmoura (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho^b$ amostra (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade (%)
0,3	3,96	25,1	*	1,0920	1,0582	75,43
1	4,45	22,1	*	1,0421	1,0656	72,30
2	8,03	31,4	*	1,0435	1,0481	73,41
4	6,10	21,1	*	1,0521	1,0644	74,72
10	12,25	21,3	26,3	1,0498	1,0610	73,71
15	10,67	24,3	25,2	1,0525	1,0942	74,14
25	12,47	24,2	21,3	1,0907	1,0523	75,63
45	13,51	21,8	24,2	1,0412	1,0363	77,40
60	17,18	21,5	22,4	1,0322	1,0777	74,97

a- tempo de imersão; b- densidade; \* não observado.