



**EFEITO DE EMBEBIÇÃO EM SAL (NaCl) NA TAXA E DEPRESSÃO DO
PONTO DE CONGELAMENTO E QUALIDADE DE CARNE BOVINA**

GIULIANO SANTOS PINHEIRO

1998

GIULIANO SANTOS PINHEIRO

**EFEITO DE EMBEBIÇÃO EM SAL (NaCl) NA TAXA E DEPRESSÃO DO
PONTO DE CONGELAMENTO E QUALIDADE DE CARNE BOVINA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Prabir Kumar Chandra

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
1998

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação da
Biblioteca Central da UFLA

Pinheiro, Giuliano Santos

Efeito de embebição em sal (NaCl) na taxa e depressão do ponto de congelamento e qualidade de carne bovina / Giuliano Santos Pinheiro. -- Lavras : UFLA, 1998.

78 p. : il.

Orientador: Prabir Kumar Chandra.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Carne - Congelamento. 2. Carne - Salga. 3. Taxa de congelamento. 4. Depressão do ponto de congelamento. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-664.902853

GIULIANO SANTOS PINHEIRO

**EFEITO DE EMBEBIÇÃO EM SAL (NaCl) NA TAXA E DEPRESSÃO DO
PONTO DE CONGELAMENTO E QUALIDADE DE CARNE BOVINA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 20 de fevereiro de 1998

Prof. Dr. Evódio Ribeiro Vilela UFLA

Prof. Dr. Luiz Antônio Lima UFLA

Prabir K. Chandra

**Prof. Prabir Kumar Chandra
UFLA
(Orientador)**

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL**

A DEUS

Aos meus pais Alcides e Izabel, aos meus irmãos

e minha esposa Ana Carla,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras em particular ao Departamento de Ciência dos Alimentos pela oportunidade oferecida para a realização deste curso.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao querido amigo, professor e orientador Prof. Prabir Kumar Chandra pela confiança, respeito, auxílio, ensinamentos e orientação.

Ao amigo Carlos José Pimenta, pois sem ele nada aconteceria.

Aos membros do comitê orientador Dr. Luiz Lima e Dr. Evódio pela ajuda.

Ao Prof. José Cal-Vidal pela amizade, atenção, ajuda e empréstimo de equipamentos necessários para a realização deste trabalho.

À Prof. Eliana Pinheiro de Carvalho pela amizade, atenção e liberação do espaço físico do Laboratório de Microbiologia.

À EPAMIG nas pessoas de Laerte e Sílvio pela disposição e empréstimo do freezer usado no experimento.

Às pesquisadoras e estagiárias do CTC-ITAL, em especial à Ana Lúcia da Silva C. Lemos e Aulerinda pela oportunidade e preciosa ajuda.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciência dos Alimentos pelo convívio e amizade.

Aos amigos e colegas do curso e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO	03
2.1 Congelamento	03
2.2 Taxa de congelamento	07
2.3 Processo de cristalização	12
2.4 Ponto de congelamento	15
2.5 Depressão do ponto de congelamento	17
2.6 Embebição de carne em sal (NaCl)	21
2.7 Propriedades físico-químicas e conceitos básicos	24
2.7.1 Calor	25
2.7.2 Calor latente	25
2.7.3 Calor sensível	26
2.7.4 Capacidade térmica (C)	26
2.7.5 Calor específico (c_s)	27
2.7.6 Ponto eutético	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Matéria prima	29
3.2 Preparo das amostras	30
3.3 Embebição em sal (NaCl)	30
3.4 Congelamento	32
3.5 Análises físico-químicas e químicas	33
3.5.1 Determinação da umidade (%)	33
3.5.2 Doseamento da fração protéica	34

3.5.3 Determinação do teor de cinzas	34
3.5.4 Determinação do pH	34
3.5.5 Determinação da absorção total de cloreto (NaCl)	34
3.6 Análises físicas	34
3.6.1 Perda de peso por cozimento	35
3.6.2 Resistência ao cisalhamento	35
3.7 Medição do tempo nominal de congelamento da carne	35
3.8 Cálculo da taxa de congelamento da carne	36
3.9 Cálculo da depressão do ponto de congelamento da carne	36
3.10 Cálculo da depressão da temperatura final de congelamento	37
3.11 Delineamento experimental e análise estatística	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Efeito do sal (NaCl) na composição físico-química da carne	39
4.1.1 Umidade	39
4.1.2 Fração Protéica	41
4.1.3 Cinza	42
4.1.4 Concentração de íons de hidrogênio, (pH)	44
4.1.5 Cloreto (NaCl)	45
4.1.6 Perda de peso por cozimento	46
4.1.7 Resistência ao cisalhamento (textura)	48
4.2 Efeito do sal (NaCl) no desempenho de congelamento da carne	50
4.2.1 Efeito do sal na depressão do ponto de congelamento	55
4.2.2 Efeito do sal na depressão da temperatura final de congelamento	57
4.2.3 Efeito do sal no tempo nominal de congelamento	59
4.2.4 Efeito do sal na taxa de congelamento	61
5 CONCLUSÕES	63
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
7 ANEXOS	71

LISTA DE SÍMBOLOS

a, b	constantes empíricas para estimar o peso molecular efetivo
a_1, a_2	parâmetros usados no modelo 1 da Tabela 3
A_1, A_2, A_3	parâmetros usados no modelo 2 da Tabela 3
c_1, c_2	constantes empíricas das equações (2.7) e (2.8)
C_1, C_2, C_3	parâmetros usados no modelo 3 da Tabela 3
D	constante empírica da equação (2.7) ($\text{cal C}^{\text{osa-1}}/\text{g}$)
d_1, d_2	parâmetros usados no modelo 4 da Tabela 3
E	razão do peso molecular (M_w/M_n)
f	parâmetro empírico do modelo 6 da Tabela 3
\bar{G}	energia livre
\bar{H}	entalpia do alimento (cal/g)
H_c, H_o	constantes empíricas da equação (2.8) (cal/g)
\bar{H}	entalpia da fase líquida
\bar{H}^{os}	entalpia da fase sólida
k	contador usado na interação de estimacão de T_{sh}
$k+1$	contador da etapa seguinte da interação de estimacão de T_{sh}
L	calor latente de fusão (kJ/kg)
M	peso molecular
M_e	peso molecular efetivo da solucão não-congelada (g/g mol)
n	constante empírica da equação (2.6)
p	pressão de vapor (Pa)
R	constante universal do gás [$\text{cal}/(\text{mole K})$]

T_A	temperatura absoluta (K)
T_r	temperatura de referência usada para determinar a entalpia do alimento ($^{\circ}\text{C}$)
T_{sh}	tempo de congelamento inicial ($^{\circ}\text{C}$)
T_{sw}	ponto de congelamento da água pura ($^{\circ}\text{C}$)
X	fração de massa da fase
X_{so}	peso inicial da fração soluto
X_{wo}	peso inicial da fração solvente (água)
W	peso molecular
Z_1, Z_2	expressões definidas pelas equações (2.7) e (2.8) respectivamente
β	constante molar do ponto de congelamento da água (1860 kg K/kg mole)
Δ	depressão do ponto de congelamento do alimento ($T_w - T_d$)
ε	critério de convergência
λ'	calor latente da fusão (kJ/mole)
η	potencial químico

SUPER-ESCRITO

o	pressão total
$soln$	pressão de vapor da solução
o'	estado padrão
s	estado sólido

RESUMO

PINHEIRO, G. S. Efeito de embebição em sal (NaCl) na taxa, depressão do ponto de congelamento e qualidade de carne bovina. Lavras: UFLA, 1998. 69p. (Dissertação - Mestrado em Ciência dos Alimentos)*.

O efeito da embebição em salmoura a cinco concentrações (0,0-2,0-4,0-6,0 e 8,%) por 90 minutos sobre as propriedades físico-químicas, variações da depressão e taxa de congelamento de alcatra (*M. biceps femoris* e *M. glutaeus medius*) bovina foi estudado. A carne foi cortada em cubos de 4 cm, embebida em salmoura e congelada em freezer à -40°C com monitoramento das temperaturas no centro e superfície do cubo. A partir dos resultados obtidos pode-se observar que o teor de umidade (base úmida) da carne foi reduzido de 73,9% para 71,6% quando variadas as concentrações de 0,0% à 8,0%. A concentração de sal medida na carne foi de 0.68, 1.05, 1.21, 1.42 e 1.77% correspondendo às concentrações de 0, 2, 4, 6 e 8% respectivamente. A concentração de 8,0% na solução aumentou significativamente a capacidade de retenção de água, melhorando a qualidade final da carne cozida. O aumento na concentração da solução promoveu uma redução no teor de proteína de 22,8% para 20,2%, reduzindo o valor nutritivo da carne embebida. A porcentagem de NaCl na carne foi aumentada, havendo um incremento na quantidade de minerais presentes. A embebição da carne por 90 minutos na solução de 2,0% promoveu uma diminuição no tempo nominal de congelamento de 3,13%,

* Comitê orientador: Prabir Kumar Chandra - UFLA (Orientador), Evódio Ribeiro Vilela - UFLA e Luiz Antônio Lima - UFLA.

induzindo uma maior taxa na transição de fase. A textura foi melhorada com a adição de sal até uma concentração de 6,0% onde a melhor condição observada para este atributo foi apresentada numa concentração de 4,0%.

ABSTRACT

PINHEIRO, G.S. Effects of soaking beef in brine on its freezing point depression, freezing rate and quality. Lavras, UFLA, 1998. 69P. (Dissertation in Food Science Department)*.

The effects of soaking beef (*M. biceps femoris* and *M. glutaeus medius*) in brine at five concentrations (0.0, 2.0, 4.0, 6.0 and 8.0%) for 90 minutes on its thermo-physical properties, freezing rate and freezing point depression were studied. The meat was cut into cubes of 4 cm side, soaked in brine and frozen in a freezer at -40°C and the temperature at its center as well as surface was monitored. The salt concentrations in meat were measured to be 0.68, 1.05, 1.21, 1.42 and 1.77% corresponding to brine concentration of 0, 2, 4, 6 and 8%, respectively. It was observed from the results that the moisture content on wet basis was reduced from 73.9 to 71.6% when salt concentration varied from 0.0 to 8.0%. Soaking in 8.0% brine significantly increased the water-binding capacity in beef, thus improving its cooking quality. The increase in the concentration of brine resulted in a reduction of protein from 22.8 to 20.2%, thus reducing the nutritive value of the soaked meat. It was also responsible for an increase in the quantity of minerals present. Soaking the meat for 90 minutes in 2.0% brine caused a nominal decrease (3.13%) in freezing time inducing a higher rate in the phase transition. The meat texture was improved after soaking it in brine of up to a concentration of 6.0% and the best condition for this attribute was observed at a brine concentration of 4.0%.

* Guidance Committee: Prabir Kumar Chandra - UFLA (Major Professor), Evódio Ribeiro Vilela - UFLA and Dr. Luiz Antônio Lima - UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Uma das maneiras comumente utilizadas para a estocagem de produtos alimentares, tais como, suco, carne, leite e outros, por longos períodos, é o congelamento dos mesmos. Este processo requer uma grande quantidade de energia e, uma otimização deste, minimizaria diretamente o gasto com o congelamento.

Vários estudos também chegaram à conclusão de que a otimização deste tempo de congelamento é um fator importante na qualidade do produto. A qualidade da carne congelada é decorrente do tamanho e localização dos cristais formados. O congelamento mais rápido provoca uma diminuição do tamanho dos cristais, ocasionando uma maior quantidade de núcleos e menor rompimento da membrana plasmática.

A formação do gelo é a mudança da fase na qual moléculas de água param o movimento e formam uma estrutura ordenada de cristais. Muitos alimentos que sofrem congelamento possuem de 55% a 95% de água. O congelamento representa para muitos alimentos o melhor meio de conservação a longo prazo, pois associa os efeitos favoráveis das baixas temperaturas às transformações da água em gelo. É bem sabido que a baixa temperatura reduz a atividade de microorganismos e sistemas enzimáticos, assim, prevenindo a deterioração do produto. Além da influência da temperatura na ação de microorganismos e enzimas, a cristalização da água, em ação secundária, protege o produto, reduzindo a quantidade de água livre no sistema e inibindo o crescimento microbiano e a atividade enzimática.

A carne e os produtos cárneos se encontram entre os alimentos mais valiosos e ricos e também, entre os que se conservam pior. O congelamento provoca relativamente poucas alterações na carne, por isso garante uma larga capacidade de conservação. O congelamento é considerado como um método legalmente admitido para a conservação e armazenamento de carne para o consumo, destruindo ainda formas encapsuladas de *Taenia saginata* e *Taenia solium*, que podem aparecer em carnes de bovino e suíno.

Um outro método também muito usado há vários anos na conservação de carne e derivados é a utilização do sal (NaCl). O sal, quando adicionado à carne, elimina uma grande quantidade de água, resultando uma diminuição da água disponível, abaixando a atividade de água, reduzindo a atividade enzimática e o desenvolvimento bacteriano. Ao tratar a carne com sal comum (NaCl), melhora-se sua textura e na mesma condição a perda de umidade diminui o calor latente de fusão. Os sais quando adicionados a um solvente catalisam o processo de nucleação ou de formação de cristais de gelo, acarretando uma maior quantidade de cristais formados e diminuindo os seus tamanhos. Porém, ainda é muito pouco estudado o processo de interação entre a salga e o congelamento.

No intuito de contribuir com os estudos de congelamento de carne em interação com o pré-tratamento de embebição em sal, o presente trabalho tem como objetivos principais: estudar os efeitos de embebição em salmoura nas propriedades físico-químicas; característica física (textura); propriedades nutritivas; variações da depressão do ponto e taxa de congelamento da carne.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Congelamento

A água é um componente fundamental dos alimentos e a quantidade desta varia dependendo da origem do produto. A água é um solvente que permite o processo de difusão e as conseqüentes reações químicas e bioquímicas. A solidificação da água é um importante fator que inibe este processo (Gruda e Postolski, 1986).

De acordo com teorias físicas recentes, as moléculas de água formam com um átomo de oxigênio e dois de hidrogênio, um tetraedro em que existem dois vértices carregados positivamente, um dos quais atrai vértices carregados negativamente de outra molécula. É comprovado que a água em estado líquido adota uma certa estrutura pseudocristalina em meio amorfo. Como conseqüência, os processos de congelamento se baseiam propriamente na formação de uma estrutura cristalina a partir de grupos moleculares de pares ordenados. Assim se explica a velocidade de crescimento relativamente grande dos cristais de gelo.

Ao diminuir-se a temperatura da água, aproximam-se as moléculas e a força de atração que as une se acentua, com isso diminui o movimento térmico de Brown. Quando a energia destes movimentos está menor que a energia da orientação constante das partículas, se origina a estrutura cristalina. A água congela formando cristais hexagonais. A transformação de fase da água vem acompanhada de liberação de grandes quantidades de energia (cerca de 336

kJ/kg), que se explica pela diminuição da energia cinética das partículas das estruturas dos cristais sólidos em comparação com a fase líquida (Gruda e Postolski, 1986).

O congelamento é a operação unitária na qual a temperatura do alimento é reduzida abaixo de seu ponto de solidificação, com a qual uma elevada proporção da água contida nele muda de estado formando cristais de gelo. A imobilização da água em forma de gelo e o aumento da concentração dos solutos na água não-congelada reduz a atividade de água do alimento (Fellows, 1994).

Segundo Chung e Merritt (1991), a determinação precisa do tempo de congelamento é importante para otimizar o projeto e operação de congelamento de alimentos. E mais, a mudança de fase deve ser completada e o tempo na zona de transição de fase deve ser minimizado para assegurar a alta qualidade dos alimentos congelados.

De Michelis e Calvelo (1983) propuseram um modelo matemático para predição do tempo de congelamento combinando uma equação de Plank (1960) para prever o tempo de mudança de fase de congelamento, com uma outra para estimar o tempo de pré-resfriamento, esta segunda sendo uma equação de transferência de calor para estado não-estacionário. O primeiro formato investigado foi o congelamento de uma placa infinita e a segunda configuração foi a forma de cubo e cilindro finito. Eles usaram uma “dimensão equivalente de transferência de calor” (EHTD). No entanto o método da EHTD é limitado para produtos de tamanhos maiores, com tempo de congelamento relativamente elevados. Cleland e Earle (1984), mais tarde, redefiniram a EHTD para uma taxa de congelamento de um objeto com a forma relativa a placa infinita e obtiveram bons resultados.

Chang e Tao (1981) analisaram estatisticamente dados publicados sobre a temperatura inicial de congelamento - T_{sh} e, com uma parte de seus estudos sobre entalpia de alimentos, obtiveram as seguintes equações:

Para carne:

$$T_{sh} = -1,92 + 1,47X_{wo} \quad (2.1)$$

Para frutas e vegetais:

$$T_{sh} = 14,46 - 49,19X_{wo} + 37,07X_{wo}^2 \quad (2.2)$$

Para sucos:

$$T_{sh} = -152,63 - 327,35X_{wo} + 176,49X_{wo}^2 \quad (2.3)$$

Heldman (1974) desenvolveu uma equação para estimar o T_{sh} através de análises termodinâmicas. A aproximação desta fórmula foi desenvolvida mais adiante por Chen (1985) que obteve a seguinte equação para estimar o T_{sh} :

$$H_{sh} = (T_{sh} - T_r) \left\{ 0,37 + 0,3X_{so} + \frac{7,45836 \times 10^4 R}{M_s T_{sh} T_r} \right\} \quad (2.4)$$

onde M_s é o peso molecular efetivo e depende do conteúdo de umidade do alimento dado por:

$$M_s = \frac{b}{1 + aX_{so}} \quad (2.5)$$

Hayakawa e Succar (1990), utilizando métodos numéricos para resolução de equações não lineares (método de Newton Rapshon), propuseram a seguinte equação:

$$T_{sh,k+1} = T_{sh,k} - \frac{(T_{sh,k} - \frac{|T_{sh,k}|^{1-n}}{Z_1} - Z_2)}{1 + \frac{1-n}{Z_1 |T_{sh,k}|^n}} \quad (2.6)$$

$$Z_1 = \frac{(n-1)(c_1 - c_e)}{D} \quad (2.7)$$

$$Z_2 = \frac{1}{c_e - c_1} \left[c_e T_r + \frac{D}{(n-1) |T_r|^{n-1}} - H_c + H_o \right] \quad (2.8)$$

A aproximação, feita por interações de T_{sh} , persiste até que a diferença entre dois valores sucessivos de T_{sh} se torne menor que um valor de erro ε , previamente especificado.

$$|T_{sh,k+1} - T_{sh,k}| < \varepsilon \quad (2.9)$$

A vantagem observada no método proposto por Hayakawa e Succar, comparado aos publicados até então, era que o T_{sh} podia ser estimado diretamente para qualquer alimento, bastando saber os dados experimentais de entalpia do mesmo.

Sabe-se que um aumento no teor de gordura da carne reduz a porcentagem de água e, conseqüentemente, o calor latente diminui. A condutividade térmica decresce, mas o efeito resultante é uma redução no tempo de congelamento, à medida que aumenta o teor de gordura. Assim, uma carne com 15% de gordura homogeneamente distribuída, terá uma redução de aproximadamente 17% no seu tempo de congelamento em relação a uma carne desprovida de gordura, (Cia e Felício, 1978).

A absorção de sal (NaCl) ocorre obedecendo a Lei de Difusão de Fick, ou seja, o sal é absorvido pelo produto procedendo uma transferência de massa, prosseguida por uma perda de água. Decorrente desta perda de água e conseqüente diminuição do calor latente, espera-se uma diminuição do tempo de congelamento.

As conseqüências prejudiciais físicas e químicas que ocorrem na carne durante o processo de congelamento, segundo Forrest et al. (1979), parecem se associar a um ou mais dos seguintes fatores: 1) natureza e localização dos cristais de gelo que se formam no interior dos tecidos do músculo; 2) dano mecânico das estruturas celulares como conseqüência da transferência de massa;

3) ação química causada pela concentração de solutos, tais como sais e açúcar. A gravidade do dano sofrido pelos tecidos da carne, atribuído a esses três fatores, depende da velocidade do congelamento.

2.2 Taxa de congelamento

Uma das mais importantes considerações associadas com congelamento de alimento é a velocidade do processo. Esta taxa não somente pode influenciar a estrutura do produto após o congelamento, mas também o tempo requerido para o seu congelamento.

Em 1978, Moran afirmou que o congelamento rápido da carne não apresenta vantagens em relação ao lento e que o fator mais importante do congelamento é a temperatura de estocagem.

Jakobsson e Bergtsson (1973) demonstraram uma influência muito pequena da velocidade de congelamento sobre a qualidade sensorial da carne, e Dransfield (1974) concluiu, à partir da análise de diversos trabalhos, que o congelamento de cortes cárneos apresenta pouco efeito sobre as propriedades da carne.

Com o passar dos anos surgiram muitas idéias sobre as vantagens do congelamento rápido, sempre alicerçadas no fato de que o congelamento lento provoca a formação de cristais maiores de gelo, que danificam a membrana plasmática, ocasionando com isso uma perda elevada de suco durante o descongelamento.

Grujic et al. (1993) mostraram a influência da taxa de congelamento na localização, formato e tamanho do cristal de gelo formado durante o congelamento da carne de boi. Os músculos foram congelados em diferentes taxas de congelamento e alguns dos resultados obtidos são mostrados na Tabela 1.

TABELA 1 – Efeito de diferentes taxas de congelamento na localização e dimensão de cristais de gelo formados em carne bovina.*

Temperat. de congelamento (°C)	Tempo de congelamento (min)	Taxa de congelamento (cm/h)	Localização dos cristais	Diâmetro dos cristais (µm) ± desvio padrão
-14	257	0,22	Intercelular	43,62 ± 4,10
-20	154	0,39	Intercelular	30,00 ± 3,95
-40**	18	3,33	Inter e Intracelular	21,31 ± 2,60
-50**	16	3,95	Intracelular	19,14 ± 1,79
-60**	12,2	4,92	Intracelular	13,5 ± 1,90
-78**	10,6	5,66	Intracelular	10,15 ± 1,51

* Fonte: Grujic et al. (1993)

** congelamento em túnel de gás contínuo – LPT-CO₂

Com este trabalho eles concluíram que: (a) o aumento da taxa de congelamento resultou em aumento do número de cristais e conseqüente diminuição do seu tamanho; (b) que o maior dano das fibras musculares foi encontrado nas amostras do congelamento mais lento e os menores observados nas taxas de 3,95 cm/h com temperatura de -50°C; (c) a melhor temperatura de congelamento está entre -40°C até -50°C com taxas de 3,33 cm/h e 3,95cm/h.

Existem significantes variações na definição de taxa de congelamento. Fennema, Powrie e Marth (1973) identificaram quatro métodos para descrever a taxa de congelamento sendo: (a) método do tempo/temperatura; (b) velocidade de formação do “front” de gelo; (c) aparecimento de amostra; (d) método dos térmicos.

Os mais freqüentes métodos encontrados são tempo/temperatura, sendo: (a) mudança de temperatura por unidade de tempo, ou (b) tempo para transvergir uma determinada faixa de temperatura. A mudança de temperatura por unidade de tempo é o indicador mais apropriado quando o assunto em questão é a estrutura de um produto congelado e a resultante é a qualidade. Eles ainda enfatizaram que a mudança de temperatura por unidade de tempo muda

significativamente durante o processo de congelamento e um valor médio tem sentido limitado.

A influência da taxa de congelamento na perda de peso durante o congelamento, descongelamento, cocção, na capacidade de retenção de água, na variação de atributos sensoriais e outras propriedades físico-químicas foram estudadas por Petrovic, Grujic, e Petrovic (1993) e são mostradas na Tabela 2.

TABELA 2 – Perda de peso durante congelamento, descongelamento, cocção, capacidade de retenção de água, plasticidade e maciez de carne de boi congelada sob diferentes taxas de congelamento.

Taxa de congelamento (cm/h)	Perda de peso (%) durante				PH	Retenção de água (cm ²)	Plasticidade (cm ²)	Maciez (kg)
	Congelamento (%)	Descongelamento (%)	Cocção (%)	Total (%)				
Controle	-	-	36,32	36,32	5,53	9,79	4,41	8,92
0,22	2,83	0,78	38,41	42,03	5,30	10,33	3,96	9,47
0,39	2,58	0,72	38,00	41,27	5,32	9,83	3,51	9,36
3,33	1,15	1,21	37,47	39,84	5,39	9,75	4,49	8,83
3,95	1,05	0,18	37,24	38,47	5,43	9,04	4,64	8,17
4,92	0,87	0,10	37,15	38,11	5,46	9,06	4,53	8,86
5,66	0,63	0,03	37,14	37,81	5,47	9,22	4,45	8,88

O mais apropriado indicador de taxa de congelamento para a finalidade de projeto de processos é o tempo para transvergir uma determinada faixa de temperatura. O Instituto Internacional de Refrigeração - IIR (1971) propôs a seguinte definição: “A taxa de congelamento de uma massa de alimento é a razão entre a mínima distância da superfície ao centro térmico, e o tempo nominal de congelamento, isto é, o tempo requerido para que o centro térmico atinja 5°C abaixo da temperatura do início da formação de gelo, partindo-se de uma temperatura superficial de 0°C. Portanto, a velocidade de congelamento pode ser expressa em cm/h quando esta distância é medida em cm e o tempo em horas”. Uma variação da definição do IIR é referida como o tempo de arraste térmico que representa o tempo requerido para o ponto de resfriamento mais lento do produto decrescer de 0°C a -5°C.

Mello Becker (1976) escreveu um trabalho sobre o congelamento da carne desossada, no qual expõe conceitos teóricos e práticos sobre a velocidade de congelamento, concluindo, a partir de dados da literatura, que uma velocidade do ar sobre o produto de 1,7 m/s pode ser considerada suficiente quando a temperatura do ar é de -30°C . O autor considera satisfatória uma velocidade de congelamento de 0,3 cm/h.

De acordo com o IIR (1971), o congelamento de carne com taxas entre 0,5 cm/h e 3,0 cm/h é considerado rápido.

O primeiro fator de importância para se medir a taxa de congelamento é, segundo Heldman e Singh (1981), a correta localização do sensor de temperatura. Uma pequena variação no posicionamento do sensor pode provocar resultados com consideráveis erros na determinação do tempo de arraste térmico para um dado produto. O segundo fator de influência foi a temperatura inicial do produto. Resultados reportados por Long (1955), citado por Heldman e Singh (1981), indicaram que um incremento na temperatura inicial do produto reduziu o tempo de arraste térmico. Em outras palavras, o tempo total de congelamento foi maior com a temperatura inicial superior, mas o tempo requerido para reduzir a temperatura do produto de 0 a -5°C foi menor. Embora estas definições não apresentem limitações, elas parecem estabelecer o melhor ajuste quando consideradas as vantagens e desvantagens de outros métodos.

Estudos mostram a importância de uma correta localização do sensor de temperatura na massa a ser estudada para obtenção de resultados precisos. No caso de uma configuração de cubo simétrico, como mostrado na Figura 1, o centro térmico coincide com o centro geométrico do cubo.

Heldman e Singh (1981) listaram quatro fatores que influenciam a taxa de congelamento: (a) o diferencial de temperatura entre o produto e o meio de resfriamento; (b) o modo de transferência de calor para e no produto; (c) o tamanho, tipo e configuração da embalagem contendo o produto; (d) o tamanho,

configuração e propriedades térmicas do produto.

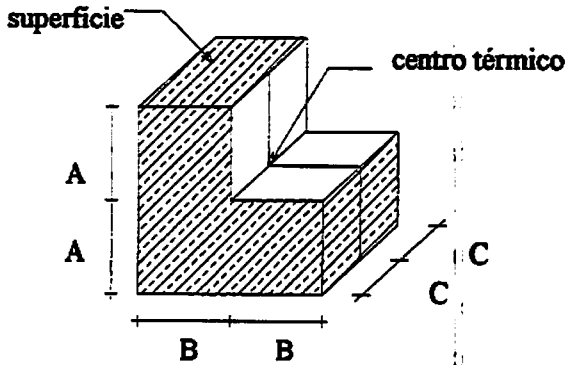


FIGURA 1 – Cubo representativo de uma massa de carne – detalhe do centro térmico.

É visto que um dos fatores que influenciam na taxa de congelamento de um produto é o modo de transferência de calor no mesmo. Sabendo-se que na carne o modo de transferência é a condução, uma das maneiras de se aumentar esta taxa é adicionando um produto que melhore esta condutividade, no caso a adição de sal à carne proporciona a formação de uma solução iônica ($\text{NaCl-H}_2\text{O}$) o que resulta em um melhor meio de condução de calor.

Embora muitas informações importantes sobre transferência de calor estejam disponíveis na literatura para auxiliar a descrição da taxa de transferência de calor em vários formatos de embalagem e produtos, a maior limitação parece ser na descrição de transferência de calor transiente com propriedades térmicas sendo uma função da temperatura. Muitos dos métodos utilizados para se obter expressões para taxa de congelamento têm envolvido suposições simplificadas que não consideram a difusividade térmica como sendo função da temperatura, numa tentativa de se obter uma solução para o complexo problema de transferência de calor (Heldman e Singh, 1981).

2.3 Processo de cristalização

(A remoção de calor, com conseqüente redução de temperatura, não constitui o processo de congelamento. Congelamento é a cristalização da água líquida para a forma sólida que se conhece como gelo.]

A maneira na qual os cristais de gelo são formados dentro de um alimento durante o congelamento é de considerável interesse, devido à influência do tamanho do cristal e sua configuração na qualidade do produto. O fenômeno físico associado com a formação do cristal foi mostrado por Fennema, Powrie e Marth (1973). [O processo de cristalização ocorre em duas etapas: nucleação ou formação dos cristais e crescimento dos cristais.]

Em um sistema a 0°C coexistem água e gelo, assumindo a não adição ou remoção de calor. Ultrapassando uma dada barreira de energia (energia de ativação), inicia-se a nucleação. Esta barreira de energia pode ser explicada com base nas mudanças de energia livre que acompanham a nucleação.

O mecanismo pelo qual o núcleo é formado homogeneamente é ainda pouco conhecido. O sub-resfriamento é necessário para o núcleo ser formado. A temperaturas abaixo do ponto de congelamento, agregados ordenados de moléculas (agrupamentos) estão em um estado dinâmico (formação muito rápida seguida de destruição). Há um tamanho crítico do cristal no qual a chance para o agregado crescer é a mesma que este tem para dissolver-se. Acima do tamanho crítico, a chance de crescimento é maior e agregados mais estáveis são formados; esses funcionarão como núcleos de cristalização (Leniger e Beverloo, 1975).

A formação dos cristais de gelo pode ser catalisada pela presença de impurezas microscópicas, como exemplo, as partículas de poeira. A taxa de nucleação se eleva com a elevação do sub-resfriamento. Presume-se, contudo, que à mesma temperatura reduzida, a probabilidade de nucleação dependente do

tempo reduziria como resultado do aumento da viscosidade do líquido.

Se a solução em que se verifica a cristalização está livre de qualquer partícula sólida, material a cristalizar ou partículas estranhas, então a formação de núcleos se verifica antes que os cristais comecem a crescer. Os núcleos também podem continuar formando-se devido a outros que estão presentes. Como as partículas, tanto do soluto como do solvente, se movem em diferentes caminhos moleculares, pode ocorrer que fortuitamente um grupo de moléculas de soluto chegue a se unir por forças de mútua atração. Existem forças que tendem a separá-las e estes grupos podem ser transitórios. Quanto mais elevada é a sobre-saturação, menos transitórios serão estes grupos e alguns deles podem chegar a orientar-se suficientemente para formar a base do crescimento do cristal. Tão logo alcançam um tamanho apreciável, sua solubilidade é menor do que a dos grupos transitórios menores, portanto, continuam crescendo e absorvendo soluto da solução que os rodeia. Quanto maior é o grau de sobre-saturação, maior é a probabilidade de formação de núcleos e tanto mais rápido o crescimento de qualquer núcleo, sejam núcleos formados espontânea ou acidentalmente, (Leniger e Beverloo, 1975). Uma vez formados os núcleos, começa o crescimento.

A adição de sal ao produto a ser congelado, com isso, poderá catalisar o processo de cristalização, ocasionando assim um aumento do número de núcleos e, conseqüentemente, aumentando o número de cristais formados e reduzindo os seus tamanhos.

Portanto, a nucleação pode ser de considerável importância na determinação da taxa de congelamento e na formação de cristais de gelo em alimentos, merecendo assim uma investigação ou estudo adicional.

O crescimento de cristais de gelo deve-se ao fato de que as moléculas de água migram no meio e terminam agregando-se a um núcleo existente; isto pode ocorrer a uma temperatura próxima ao ponto de congelamento. Na prática, nos

alimentos, a velocidade de crescimento dos cristais de gelo depende da velocidade com que se elimina calor e da diferença de temperatura entre o cristal e o meio que o rodeia (Cheftel, Cheftel e Besançon, 1982).

As velocidades de resfriamento e de formação do gelo são determinadas pelo gradiente de temperatura na água ou gelo. A quantidade de transferência de calor é fator limitante no desenvolvimento do cristal (à medida que o grau de remoção de calor é reduzido, o grau de desenvolvimento de cristais diminui). A temperaturas muito baixas, o fator limitante constitui a transferência de massa, porque a elevada viscosidade do meio retarda o deslocamento das moléculas de água. Com o material alimentar a concentração do meio atua no mesmo sentido. Quando o meio atinge um estado vítreo, esta mobilidade se reduz praticamente a zero (Trigo, Koxholt e Kessler, 1997). Substâncias em solução tais como sais, álcoois, açúcares, proteínas, etc. também retardam o crescimento dos cristais de gelo.

Após serem formados os cristais de gelo, o calor latente de cristalização causa o decréscimo (ou paralisação) da taxa de resfriamento do sistema até que a mudança de fase esteja completa. O resfriamento (redução de temperatura) do sistema resulta somente da remoção do calor sensível e somente este pode ser removido a menos que o processo de cristalização seja de algum modo engatilhado, requerendo o sistema de refrigeração para remover também o calor latente de cristalização. É por esta razão que o cálculo das taxas de resfriamento e redução de temperatura em sistemas alimentares é um grande problema. Não somente os efeitos da remoção do calor sensível e latente diferem, quando considerados o tempo x distribuição da temperatura dentro do sistema, mas também é incerto o ponto exato (no tempo e no espaço) no qual a cristalização é iniciada e, conseqüentemente, em que o calor latente contribui para o problema de transferência de calor (Reid, 1983).

2.4 Ponto de Congelamento

Segundo Fennema, Powrie e Marth (1973), o ponto de congelamento de um solvente puro é a temperatura na qual podem existir as fases sólida e líquida em equilíbrio a uma pressão de 1 atm. A adição de um soluto abaixa o ponto de congelamento e capacita as fases sólida e líquida de um sistema a ter equilíbrio em várias temperaturas dependendo de: (1) a quantidade de soluto inicialmente dissolvido no solvente; (2) a quantidade de solvente que foi cristalizado. Segundo Heldman e Singh, (1981) um outro fator influente no ponto de congelamento é o peso molecular do soluto presente. O ponto inicial de congelamento de uma solução, por isso, deve ser definido como a temperatura na qual pode existir uma porção infinitesimal de cristais do solvente em equilíbrio com a solução remanescente a uma pressão de 1 atm.

O ponto de congelamento ("Freezing Point") ou ponto de equilíbrio é, segundo Rahman (1994), uma das mais importantes propriedades dos alimentos. Nos processos de congelamento é necessário predizer o tempo de congelamento para assegurar a qualidade do produto e a eficiência do equipamento e para essa predição, é necessário saber o ponto inicial de congelamento.

Segundo Rahman, os modelos para predição do ponto de congelamento podem ser divididos em três grupos (Tabela 3): ajuste empírico da curva, modelo teórico e modelo semi-empírico.

TABELA 3 – Modelos considerados por Rahman (1994) para predição de ponto e depressão do ponto de congelamento de carne.

Modelo	Equação	Referência*
(Empírico)		
Modelo 1	$\Delta = a_1 + a_2 X_w$	Chang e Tao (1981)
Modelo 2	$\Delta = A_1 + A_2 X_w + A_3 X_w^2$	Chang e Tao (1981)
Modelo 3	$\Delta = C_1 X_s + C_2 X_s^2 + C_3 X_s^3$	Chen e Nagy (1987)
Modelo 4	$\Delta = \frac{(X_w - 1)}{(d_1 + d_2 X_w)}$	Sanz, Dominguez e Mascheroni (1989)
(Teórico)		
Modelo 5	$\Delta = -\frac{\beta}{M_w} \ln \left[\frac{(X_w - BX_s)}{(X_w - BX_s) + EX_s} \right]$	Schwartzberg (1976)
(Semi-empírico)		
Modelo 6	$\Delta = -\frac{\beta}{M_w} \ln \left[\frac{(X_w - BX_s)}{(X_w - BX_s) + EX_s(1 + fX_s)} \right]$	Chen (1987)

Onde Δ é a depressão do ponto de congelamento do alimento ($T_w - T_f$). Todos os modelos para predição do tempo de congelamento necessitam deste ponto inicial. O “freezing point” é também usado como o limite da injúria por “chilling” de um produto fresco quando estocado a uma baixa temperatura.

A precisão dos dados do “freezing point” pode também ser usada para calcular ou determinar outras propriedades importantes como atividade de água (Heldman, 1974), peso molecular efetivo (Chen, 1986; Fennema, Powrie e Marth, 1973), água livre e congelada e entalpia sob congelamento (Chang e Tao, 1981).

2.5 Depressão do ponto de congelamento

Segundo Heldman e Singh (1981), a depressão do ponto de congelamento é uma das propriedades da água mais citadas em alimentos. Visto que todos os produtos alimentares contêm grande quantidade de umidade na qual vários solutos estão presentes, o real ou ponto inicial de congelamento da água em um produto poderá ser deprimido dependendo da proporção entre soluto-solvente. A magnitude desta depressão do ponto de congelamento é uma função direta do peso molecular e da concentração do soluto em solução com a água.

A expressão ou expressões que predizem a extensão da depressão do ponto de congelamento pode ser derivada de relações termodinâmicas baseadas no equilíbrio entre os estados (sólido e líquido) de um sistema. Baseado na situação em que a mudança na energia livre para um sistema em equilíbrio deve ser zero, no qual define o potencial químico, isto sugere que o potencial químico para cada fase de um sistema deve ser igual, como ilustrado por Heldman e Singh, pela seguinte equação:

$$\eta^{\alpha} = \eta^{\beta} \quad (2.10)$$

quando α e β representam duas fases separadas no sistema. Utilizando uma das relações básicas da termodinâmica que indica que a mudança no potencial químico com a pressão a uma temperatura constante deve ser igual ao volume molar parcial, segue que o potencial químico de uma solução seria descrito pela seguinte expressão:

$$\eta_A^{soln} = \eta_A^0 + R_g T_A \ln p_A \quad (2.11)$$

Na equação (2.11) o potencial químico à pressão de 1 atm. tem o sobrescrito zero e T_A é a temperatura absoluta.

Utilizando a Lei de Raoult, dada pela equação abaixo:

$$p_A = X_A p_A^0 \quad (2.12)$$

a equação (2.11) toma-se:

$$\eta_A = \eta_A^0 + R_g T_A \ln p_A^0 + R_g T_A \ln X_A \quad (2.13)$$

que provém a relação entre a fração molar (X_A) e o potencial químico do componente A na solução. À temperatura e pressão constantes, os primeiros dois termos à direita da equação (2.13) são constantes e a expressão pode ser escrita como se segue:

$$\eta_A = \eta^{0'} + R_g T_A \ln X_A \quad (2.14)$$

que ilustra a relação direta entre o potencial químico de um componente (A) e a fração molar deste componente em uma solução ideal. Para o caso de sólido e líquido em equilíbrio, a equação (2.14) pode ser escrita como se segue:

$$\eta_A^s = \eta_A^{0l} + R_g T_A \ln X_A \quad (2.15)$$

provendo a relação entre as fases sólida e líquida. Utilizando a definição de potencial como dado na equação abaixo

$$\eta_i = \left[\frac{dG}{dn_i} \right] \quad (2.16)$$

a seguinte expressão é obtida:

$$\frac{\bar{G}_A^{0s} - \bar{G}_A^{0l}}{R_g T_A} = \ln X_A \quad (2.17)$$

que expressa a diferença na energia molar livre entre as fases líquida e sólida. Desde que a energia livre pode ser relatada para a entalpia livre pela seguinte expressão:

$$\frac{\partial}{\partial T_A} \left[\frac{G}{T_A} \right] = -\frac{H}{T_A^2} \quad (2.18)$$

A equação (2.17) pode ser escrita em termos das diferença de entalpia das fases líquida e sólida ou o calor latente de fusão, como ilustrado pela seguinte expressão:

$$\frac{\overline{H}_A^{0l} - \overline{H}_A^{0s}}{R_g T_A^2} = \frac{\lambda'}{R_g T_A^2} = \frac{d \ln X_A}{dT_A} \quad (2.19)$$

A equação (2.19) relata o calor latente de fusão (λ') com a fração molar e a temperatura. Pela integração da equação (2.19) a seguinte expressão é obtida:

$$\frac{\lambda'}{R_g} = \left[\frac{1}{T_{A0}} - \frac{1}{T_A} \right] = \ln X_A \quad (2.20)$$

onde T_{A0} é o ponto de congelamento da água pura (A) e X_A é a fração molar da água em solução. Embora a equação (2.20) tenha uma forma aceitável para cálculo da Depressão do Ponto de Congelamento, a expressão pode ser simplificada para soluções diluídas. A equação (2.20) pode ser modificada como:

$$\frac{\lambda'}{R_g} \left[\frac{T_A - T_{A0}}{T_{A0}^2} \right] = \ln(1 - X_B) \quad (2.21)$$

onde $T_A T_{A0} \cong T_{A0}^2$ para pequenos valores de $T_A T_{A0}$. Fazendo $\Delta T_F = T_{A0} - T_A$ e expandindo o logaritmo neperiano em uma série de potência [$-\ln(1 - X_B) = X_B + 1/2 X_B^2 + 1/3 X_B^3 + \dots$] resulta em:

$$\frac{\lambda' \Delta T_F}{R_g T_{A0}^2} = X_B \quad (2.22)$$

quando as soluções são diluídas ($X_B \ll 1$). Expressando o calor latente de fusão em uma unidade básica de massa, a equação (2.22) torna-se:

$$\Delta T_F = \frac{R_g T_{A0}^2 W_{Am}}{1000L} \quad (2.23)$$

onde m é a molalidade em termos de moles de soluto por quilos de solvente. O procedimento usual é incorporar todas as parcelas à direita da equação (2.23), exceto a molalidade, a um constante ponto de congelamento molal. Esta constante pode ter um valor de 1.86 para a água quando a depressão do ponto de congelamento é expressa em °C. Assim a depressão do ponto de congelamento é importante para sabermos em que ponto o produto iniciará seu congelamento.

O processo de congelamento de um produto alimentar é algo mais complexo que o congelamento de água pura, como deve-se esperar. Este processo pode ser visualizado como referência na Figura 2, comparando a curva de congelamento da água pura com a curva de uma solução aquosa contendo um soluto. Na água, a temperatura decresce com o calor removido do sistema até atingir o ponto de congelamento. Depois de uma pequena quantia de super-resfriamento, a temperatura permanece constante, enquanto o calor latente é removido do sistema. Depois do calor latente removido, a temperatura decresce novamente com a energia removida.

Em um alimento ou alguma solução, a remoção de energia calorífica resulta no decréscimo da temperatura até que o ponto inicial de congelamento seja atingido, da mesma maneira que na água. O ponto inicial de congelamento, contudo, será deprimido e predito pela equação (2.23).

O congelamento inicial resulta na cristalização de uma porção de água, resultando uma concentração da solução remanescente e conseqüente redução do ponto de congelamento da porção não-congelada. Isto resulta em um decréscimo adicional da temperatura e mais energia calorífica terá de ser removida, como ilustrado na Figura 2. O processo continua com uma simultânea cristalização da água, resultando uma conseqüente depressão do ponto de congelamento da solução concentrada até que o ponto eutético da solução é alcançado. Este ponto será único para cada soluto presente no sistema.

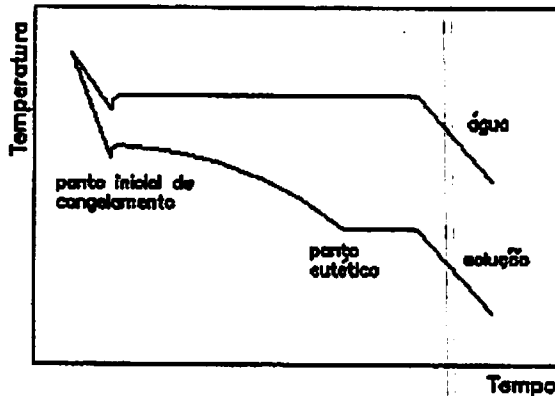
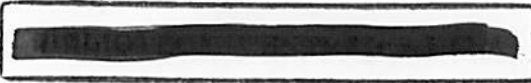


FIGURA 2 – Comparação das curvas de congelamento da água pura e uma solução aquosa contendo um soluto.

Em um sistema soluto-simples, a remoção da energia calorífica além do ponto eutético resulta no decréscimo da temperatura com a cristalização do soluto, bem como a formação de cristais de gelo. Como se espera, além deste ponto a temperatura do sistema decresce novamente. Em sistemas com produtos alimentares é muito provável que mais de um soluto se faça presente e, por isso, vários pontos eutéticos podem ser obtidos durante o processo de congelamento. O fato das temperaturas dos diversos pontos eutéticos não poderem ser evidenciadas durante o congelamento é devido à presença de diferentes tipos de solutos no sistema.

2.6 Embebição de carne em sal (NaCl)

A utilização do sal na conservação dos alimentos é um dos processos mais antigos da história. A adição de sal em carne e produtos cárneos exerce um grande efeito bactericida nos microrganismos presentes, porque reduz a atividade de água, limitando a disponibilidade de água do produto. Para que se



tenha um efeito preservativo eficaz é necessária uma concentração de sal no produto de 9 a 11% e uma umidade do produto de 50 a 90%. Este valor é bem acima das concentrações usadas atualmente, que variam entre 2 a 3%. Alguns microrganismos são inibidos por esta concentração, mas a atividade de água neste caso, geralmente, é suficiente para o crescimento de bolores, leveduras e bactérias halófilas. Assim sendo, o sal nos produtos atualmente comercializados tem somente um efeito preservativo limitado sendo, portanto, necessário combinar outros métodos de conservação para aumentar a vida de prateleira do produto (Canhos e Dias, 1983).

Goutefongea (1991) destaca algumas funções do uso do sal como: bactericida, retentor de água na carne, solubilizante das proteínas musculares entre outros. Mastroggiacomo (1988) cita também o sal (NaCl) como antiemectante.

Terra (1988) cita o sal como fator influente na resistência ao teste de cisalhamento, sabor e capacidade de conservação da carne.

A ação principal da adição do sal é, segundo Jay (1970), decorrente da redução da atividade de água (A_w) do alimento, limitando, portanto, a disponibilidade de água. Assim, soluções de NaCl a 3, 5, 10, 16 e 22%, apresentam A_w de 0.98, 0.94, 0.90 e 0.86, respectivamente. No entanto, mecanismos adicionais poderiam melhor explicar a influência do NaCl sobre os microrganismos. Frazier (1967) menciona os seguintes: a) ionização do NaCl, com liberação do íon Cl^- , prejudicial aos microrganismos; b) redução na solubilidade do oxigênio; c) maior sensibilidade das células aos efeitos dielétricos do CO_2 ; d) interferência na atividade das enzimas proteolíticas.

A penetração do sal na carne está relacionada, segundo Girard (1991), com o estabelecimento de um equilíbrio entre as concentrações do sal no interior e exterior da peça. Em condições iguais, por outro lado, a velocidade de penetração do sal diminui à medida que se aproxima deste equilíbrio. Ele

destaca também em seu trabalho o pH como um fator influente interno na absorção de sal onde, quanto mais elevado o pH, menor será a taxa de penetração do sal.

Romanelli e Felício (1995), estudando a salga da carne de jacaré do pantanal (*Caiman crocodilus yacaré*), demonstraram, comparando seus dados experimentais com o modelo matemático proposto por Palmia (1989), que para o cloreto de sódio (NaCl), o tempo de saturação atingido variou de 15 a 20 horas com uma saturação em torno de 19% e que, entre 1 a 2 horas de salga, a concentração foi de mais ou menos 10%, o que significou aproximadamente, 50% da saturação.

Segundo Pardi et al. (1993), quando da incorporação de cloreto de sódio à carne crua, é aumentada a capacidade de retenção da água devido à formação do complexo sal/proteína. Nos casos porém de concentração iônica elevada, o sal passa a exercer um efeito desidratante. Acrescentam ainda que o efeito do sal é máximo, quando a concentração é de 5% ou de 8%.

O sal comum pode ser obtido a partir da sal gema (pedra de sal) em minas e pela evaporação de águas salgadas (mar). E este, segundo Gerhardt (1980), dissolve-se com a mesma facilidade em água fria ou quente.

Em uma análise físico-química do sal feita por Gerhardt (1980), foram obtidos os resultados mostrados na Tabela 4.

TABELA 4 – Composição físico-química de um sal obtido por evaporação a vácuo da água (Gerhardt, 1980).

Composição	Quantidades	Tamanho dos Grãos	Ocorrência
NaCl	99,9761%	Mais de 1mm	0,2%
Mg(OH) ₂	0,0019%	Mais de 0,71mm	1,4%
CaSO ₄	0,0067%	Mais de 0,50mm	44,9%
K ₂ SO ₄	0,0125%	Mais de 0,40mm	30,5%
Na ₂ SO ₄	0,0025%	Mais de 0,25mm	19,1%
Fe ₂ O ₃	0,0002%	Mais de 0,16mm	2,1%
Insolúvel	0,0001%	Mais de 0,10mm	1,7%
		Inferior a 0,10mm	0,1%
Peso a granel	1.212 g por litro		

2.7 Propriedades físico-químicas e conceitos básicos

Propriedades como calor específico, densidade, condutividade térmica são frequentemente requeridas para condução de análises preliminares em projetos de processamento físico de alimentos. Estas propriedades são bem definidas para materiais não biológicos, mas são escassas as informações dessas propriedades térmicas em alimentos (Bhumbla, 1989).

Estas propriedades são de grande importância para se determinar, entre outras, a taxa de transferência de calor entre o alimento e o meio e internamente no alimento (Singh e Heldman, 1984).

Para o congelamento, primeiro é preciso eliminar o calor sensível do alimento para abaixar a temperatura até alcançar a temperatura de congelamento. A quantidade de calor a extrair, denominada carga calórica, é importante para determinar a potência que deverá ter a instalação. Seguidamente se elimina o calor latente de congelamento que provoca a formação de cristais de gelo. Como a maior parte dos alimentos contém uma elevada proporção de água, o calor latente de congelamento é alto, por isso a quantidade de energia necessária é grande (Fellows, 1994).

Durante vários anos se tem manifestado uma contínua atenção sobre o conteúdo nutricional da carne e dos produtos cárneos e seu papel na dieta humana. Schweingert (1994) apresentou resultados sobre suas análises dos conteúdos básicos da carne e estes estão mostrados, em parte, na Tabela 5.

TABELA 5 – Composição bruta dos nutrientes básicos de carne bovina.

Corte	Umidade (%)	Proteína (%)	Gordura (%)	Cinza (%)	Calorias/100g
Membro posterior (coxa)	66,6	20,2	12,3	0,9	197,0

2.7.1 Calor

Calor é o agente físico responsável pelas variações de temperatura, as mudanças no estado de agregação dos corpos (vaporização dos líquidos, fusão dos sólidos, etc.) e as dilatações e contrações que ocorrem em função das variações do estado térmico dos corpos.

2.7.2 Calor latente

O calor latente é a energia (Joule) requerida para transformar uma massa de 1 kg de uma substância em estado sólido para líquido (calor latente de fusão), ou do estado líquido para sólido (calor latente de solidificação), isto a uma temperatura constante.

Segundo Pauli, Mauad e Heilmann (1978), chama-se calor latente a quantidade de calor que a unidade de massa de um sistema deve trocar com o exterior, na temperatura em que ocorre a transformação de estado físico, para que o sistema sofra a transição, sem variação de temperatura.

Portanto, é chamado calor latente aquele que é removido do sistema sem que este sofra variação de temperatura.

2.7.3 Calor sensível

Calor sensível é o calor que é removido ou absorvido por um sistema quando a variação de energia resulta em conseqüente alteração na temperatura. Quando se analisa exclusivamente as variações de temperatura que ocorrem por trocas de calor, este é dito calor sensível.

2.7.4 Capacidade térmica (C)

Grandeza física que permite prever dentro de um dado conjunto de corpos, onde cada um cede ou recebe a mesma quantidade de calor, qual deles estará mais quente ou mais frio, ao completar a troca de calor. A capacidade térmica de um corpo depende de sua massa.

Seja ΔQ a quantidade de calor que um sistema troca com o exterior e $\Delta\theta$ a conseqüente variação de temperatura do sistema, chama-se capacidade térmica a razão entre a quantidade de calor fornecida ao sistema (ou cedida pelo sistema) e a variação de temperatura ocorrida (Pauli, Mauad e Heilmann 1978).

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \quad (2.24)$$

onde:

C: capacidade térmica do corpo ($J/^{\circ}C$ ou J/K).

Q: quantidade de calor trocada pelo corpo (J).

$\Delta\theta$: variação de temperatura do corpo ($^{\circ}C$ ou K).

2.7.5 Calor específico (c_s)

Grandeza física que permite prever, dentro de um dado conjunto de amostras de diversos materiais, todas de mesma massa, qual delas que recebendo ou cedendo a mesma quantidade de calor, estará mais quente ou mais fria, ao completar a troca de calor. É a constante da proporcionalidade direta que ocorre entre a massa e a capacidade térmica das amostras de um mesmo material. O calor específico de um dado material não depende da massa utilizada. Assim, calor específico é a quantidade de calor que é absorvida ou perdida por uma unidade de peso do produto para se efetuar uma variação na temperatura, sem mudança de estado (Singh e Heldman, 1984).

A relação entre calor específico, massa e a capacidade térmica de um produto é dada por

$$c_s = \frac{C}{m} \quad (2.25)$$

onde:

c_s : calor específico de um dado material (J/kg °C ou J/kg K).

C: capacidade térmica do corpo.

m: massa da amostra do material (kg).

O calor específico à pressão constante (c_p), e o calor específico a um volume constante (c_v), são chamados de “calores específicos principais” (Nussenzveig, 1983), (Dickerson, 1968).

Para produtos onde a composição físico-química é conhecida, como a carne, Singh e Heldman (1984) propuseram a seguinte equação:

$$c_p = 1,424m_c + 1,549m_p + 1,675m_f + 0,837m_s + 4,187m_m \quad (2.26)$$

onde m = fração da massa, e os subscritos são c = carboidrato, p = proteína, f = gordura, a = cinza, e m = umidade.

2.7.6 Ponto eutético

Relacionado à temperatura onde todos os solventes se encontram congelados, é o ponto limite onde se determina o fim do congelamento de um produto.

3 MATERIAL E MÉTODOS.

Os experimentos foram realizados no ano de 1997, no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), situada no estado de Minas Gerais. As análises físico-químicas e químicas foram realizadas no Laboratório de Produtos Vegetais do mesmo departamento. As análises físicas foram realizadas nos laboratórios do Centro de Tecnologia de Carnes (CTC), no Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), em Campinas – São Paulo.

3.1 Matéria prima

A carne utilizada na execução do experimento foi composta de quatro peças completas de alcatra bovina (*M. biceps femoris e M. glutaeus medius*) num total de 25 kg, adquiridas no Frigorífico São João (Indústrias Pastoris São João Ltda.) situado na cidade de Campo Belo – MG. Esta foi extraída de dois animais de aproximadamente mesmo tamanho, idade e condição corpórea. A carne foi refrigerada logo após o abate e enviada, em condições refrigeradas, para a cidade de Lavras onde foi submetida imediatamente a um processo de congelamento a uma temperatura de -40°C para aguardar posteriores operações.

3.2 Preparo das amostras

Utilizou-se como sistema modelo blocos de $4 \pm 0,3$ cm de lado e peso médio $72 \pm 1,7$ gramas conforme mostrado na Figura 3, retirados dos cortes de alcatra (*M. biceps femoris* e *M. gluteus medius*) congelados, com auxílio de serra elétrica industrial de uso frigorífico.

Foram descartados os cubos com altas concentrações de tecido adiposo (conforme mostrado na Figura 3) e conjuntivo. Os cubos foram acondicionados em sacos plásticos, devidamente etiquetados e novamente armazenados em freezer (-40°C).

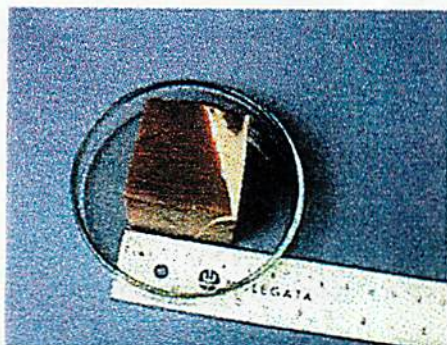


FIGURA 3 – Foto ilustrativa de um cubo de carne mostrando concentração de tecido adiposo.

3.3 Embebição em sal (NaCl)

Cada cubo foi retirado do freezer (-40°C), levado a uma câmara com temperatura aproximada de -3°C por 90 min, onde foi submetido a um fluxo de ar constante de aproximadamente 7 m/s, usando-se um ventilador da marca BRUSMLESS (modelo 011388-CHANG YUN, Taiwan), para elevação de temperatura. Após esta elevação de temperatura, este sofreu um processo de

descongelamento à temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$), com fluxo de ar forçado por 45 min, conforme mostrado na Figura 4.

O cubo de carne descongelado foi imerso em solução salina (H_2O e NaCl), de acordo com os tratamentos propostos, por um período de 90 minutos, conforme mostrado pela Tabela 6.

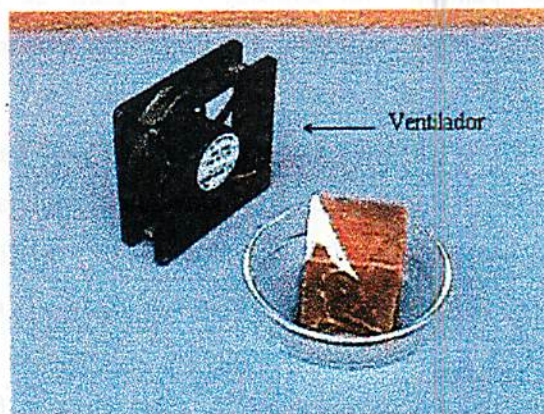


FIGURA 4 – Detalhe de um cubo de carne sendo descongelado à temperatura ambiente 25°C , com uso de ventilação forçada.

TABELA 6 – Detalhamento dos 5 tratamentos propostos – concentração salina (H_2O - NaCl).

Tratamento	H_2O [ml]	NaCl [g]	Concentração De NaCl (%)	Nº de repetições	Cubos por repetição
T1	-	-	-	3	5
T2	200	4,00	2,0	3	5
T3	200	8,00	4,0	3	5
T4	200	12,00	6,0	3	5
T5	200	16,00	8,0	3	5

3.4 Congelamento

Por motivos de impossibilidade experimental, o congelamento monitorado usado como fonte para os cálculos deste trabalho, foi o segundo sofrido pela carne, portanto trata-se de um recongelamento, porém, para efeito de simplificação, este é tratado como congelamento.

Para o congelamento foi utilizado um freezer de marca comercial Coldrag (São Paulo - Brasil), capacidade 420 litros, com termostato regulado em $-40 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

O processo de resfriamento e congelamento foi acompanhado através de termopares Cu - Constatam (Digitron Instrumentation, Inglaterra) acoplados a um registrador de temperatura (SP25K Dataprinter, Inglaterra), sendo os termopares colocados um no centro e outro na superfície da amostra (cubo) de carne (Figura 5). O registrador de temperatura foi programado para imprimir as leituras (centro-superfície) a cada 4 minutos, e estes dados foram usados na confecção dos gráficos de congelamento e análises matemáticas adicionais. O monitoramento do congelamento foi mantido até que o centro atingisse -20°C .

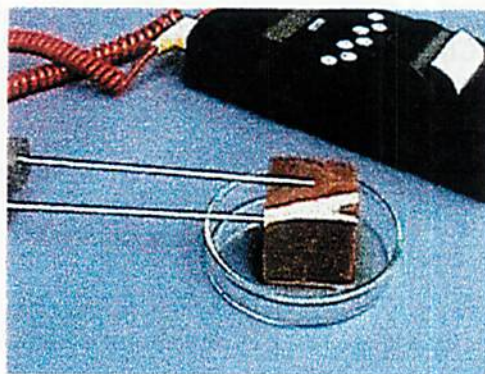


FIGURA 5 – Detalhe dos termopares posicionados no centro e superfície da carne e acoplados ao registrador de temperatura.

Os cubos modelos usados no processo de congelamento ficaram no centro do freezer suspensos por um suporte de madeira e tela de nylon, conforme ilustrado na Figura 6.

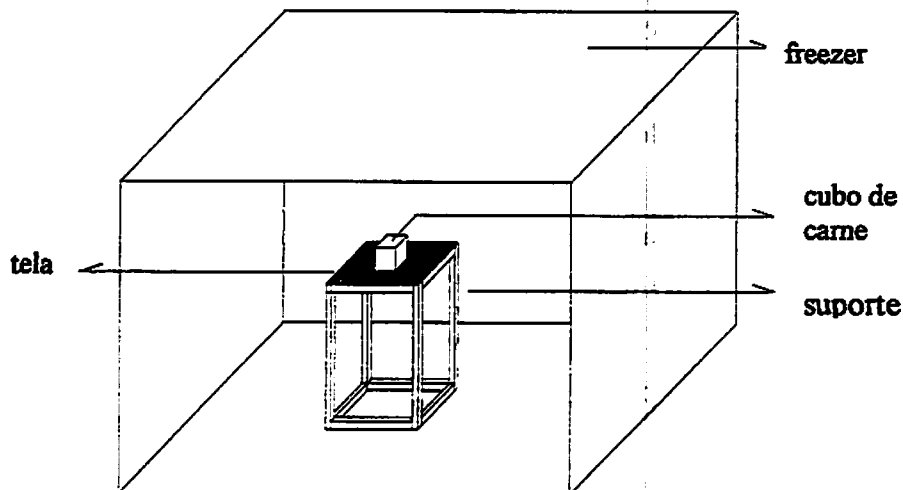


FIGURA 6 – Ilustração do suporte de madeira utilizado no congelamento da carne.

3.5 Análises físico-químicas e químicas

Com o objetivo de avaliar as possíveis alterações nas propriedades químicas promovidas pelo uso do sal (NaCl) na carne, foram realizadas análises após o congelamento, conforme descrito adiante.

3.5.1 Determinação da umidade (%)

A determinação da umidade foi realizada pelo método gravimétrico com emprego de calor (secagem em estufa à 100-105°C) até atingir peso constante, de acordo com a Associação Oficial de Química Analítica - AOAC (1990).

3.5.2 Doseamento da fração Protéica

O doseamento da fração protéica foi determinado através de cálculo de transformação do nitrogênio total em nitrogênio protéico. Este método está descrito detalhadamente no AOAC (1990).

3.5.3 Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas foi obtido por incineração da amostra em mufla à 500-°C, de acordo com AOAC (1990).

3.5.4 Determinação do pH

O método utilizado para esta determinação foi o potenciométrico, utilizando um pHmetro da marca HANNA instruments - Singapura, modelo HI 8314.

3.5.5 Determinação da absorção total de cloreto (NaCl)

Utilizou-se o método de Mohr, fundamentado na precipitação dos cloretos sob a forma de cloreto de prata, em pH 8,3, em presença de cromato de potássio como indicador, este método está descrito no Brasil (1981).

3.6 Análises físicas

Estas análises objetivaram mostrar as possíveis interações entre o sal (NaCl) e o tempo de congelamento nas propriedades físicas da carne. Todas as análises foram realizadas em duplicata e trabalhou-se com as médias destes resultados.

3.6.1 Perda de peso por cozimento

Esta análise consiste em saber a quantidade de líquido (%) que é perdida durante o processo de cocção da carne, esta foi realizada conforme descrito abaixo.

- 1 – pesa-se a amostra limpa e descongelada (P_i),
- 2 – acondiciona-se esta em sacos de PVC,
- 3 – cocção em banho (água à 80°C) até o centro da carne atingir 72°C,
- 4 – resfria-se a amostra (temperatura ambiente),
- 5 – pesa-se a amostra após cocção, sem o suco exsudado (P_f),
- 6 – calcula-se a perda de peso por cocção (%), conforme fórmula abaixo.

$$Perda(\%) = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad (3.1)$$

3.6.2 Resistência ao cisalhamento (textura)

São retirados cilindros de 1 cm² de área transversal e aproximadamente 2 cm de comprimento no sentido das fibras da carne e estes são levados à determinação da tensão máxima de cisalhamento. O cisalhamento é feito de modo perpendicular ao sentido das fibras. Foi utilizado o dinamógrafo Instron modelo TM-M-2315 (Inglaterra) acoplado a acessórios da marca Warner-Bratzer (Inglaterra). O equipamento foi ajustado para velocidade de 500 mm/min e fundo de escala 10 kgf/cm².

3.7 Medição do tempo nominal de congelamento da carne

Este tempo foi calculado com base nos dados de congelamento e na definição do IIR (1971), seja, o tempo medido a partir do momento em que a

superfície atingiu 0°C até o centro atingir 5°C abaixo da temperatura inicial de congelamento e esta foi encontrada de acordo com o descrito no item 3.9.

3.8 Cálculo da taxa de congelamento da carne

De acordo com os dados obtidos no congelamento e a definição do IIR (1971), a taxa de congelamento foi calculada como a razão da distância da superfície ao centro térmico da carne e o tempo nominal de congelamento.

3.9 Cálculo da depressão do ponto de congelamento da carne

Com base nos dados de congelamento dos cubos de carne, foi feito o cálculo da depressão do ponto de congelamento conforme equação mostrada abaixo.

$$\Delta T_F = T_W - T_i \quad (3.2)$$

Sendo: ΔT_F : depressão do ponto de congelamento,
 T_W : temperatura do ponto inicial de congelamento da água,
 T_i : temperatura inicial de congelamento do alimento.

A temperatura inicial de congelamento do alimento (T_i) foi encontrada usando-se a inclinação da curva de resfriamento (variação da temperatura pelo tempo) no centro do cubo, ou seja, o congelamento iniciava-se quando esta variação atingia um decréscimo máximo de 0,1°C/4min.

Os dados experimentais observados para a depressão do ponto de congelamento foram comparados com os preditos pela equação (3.3), proposta por Heldman e Singh, (1981). O objetivo desta comparação foi avaliar o efeito da variação do teor de umidade e do sal na depressão do ponto de congelamento da carne.

$$\Delta T_F = \frac{R_g T_{Ao}^2 W_A m}{1000L} \quad (3.3)$$

onde

$$R_g = 0,461524 \text{ J/mol}^\circ\text{C} \quad (\text{Chandra e Singh, 1994})$$

$$T_{Ao} = 273,15^\circ\text{C}$$

$$W_A = 18,051534 \quad (\text{Chandra e Singh, 1994})$$

Para o cálculo desta predição foram feitas algumas considerações para obter-se o peso molecular médio (W_B) dos solutos presentes na carne, sejam:

$$L (-1,7^\circ\text{C}) = 278,2 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Singh, 1984})$$

$$T_i = -1,7^\circ\text{C} \quad (\text{Singh, 1984})$$

$$U = 66,6\% \quad (\text{Schweingert, 1994})$$

$$\%G = 12,3\% \quad (\text{gordura, Schweingert, 1994})$$

e usando a seguinte equação

$$m = \frac{1000L \Delta T_F}{R_g T_{Ao}^2 W_A}; \quad (3.4)$$

encontrou-se

$$W_B = 416,38008$$

A partir deste valor foi calculada a depressão do ponto de congelamento variando-se os valores da umidade e conseqüentemente a porcentagem de sólidos na carne, mantendo-se constante o teor de gordura.

3.10 Cálculo da depressão da temperatura final de congelamento

Com uso dos dados de congelamento dos cubos de carne, obtidos do monitoramento feito pelo registrador de temperatura, calculou-se a depressão da

temperatura final de congelamento usando-se a equação mostrada abaixo.

$$\Delta T_T = T_d - T_i \quad (3.5)$$

sendo: ΔT_T : depressão da temperatura final de congelamento

T_i : temperatura inicial de congelamento

T_d : temperatura final de congelamento

A temperatura final de congelamento do alimento (T_d) foi encontrada usando-se a inclinação da curva de congelamento (variação da temperatura pelo tempo) no centro do cubo, ou seja, foi considerado o fim do processo de congelamento quando a variação de temperatura ultrapassou o valor de máximo de $0,2^\circ\text{C}/4\text{min}$.

3.11 Delineamento experimental e análise estatística

Foram realizadas análises de regressão e correlação entre as variáveis, objetivando determinar a natureza e comportamento da curva de resposta destas em função dos tratamentos propostos. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com um fator variante (concentração de sal), em cinco níveis (0 – 2 – 4 – 6 e 8%). As análises de regressão foram precedidas de uma análise de variância, a fim de comprovar estatisticamente se os dados apresentavam diferença significativa entre os tratamentos.

Todas as análises foram feitas utilizando o programa SISVAR versão 3.01, desenvolvido pelo professor Daniel Furtado Ferreira – Departamento de Ciências Exatas – UFLA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho foram discutidos em duas partes. Uma sobre os efeitos dos tratamentos na composição química e atributos físicos da carne e a outra sobre os efeitos no desempenho de congelamento da carne.

4.1 Efeito do sal (NaCl) na composição físico-química da carne

Foram feitas as análises físico-químicas das amostras com o objetivo de analisar o efeito do sal e o congelamento sobre cada propriedade. As análises foram feitas em duplicata e trabalhou-se com as médias destas. Os resultados das análises feitas são mostrados nas Tabelas 1A, 2A e 3A do Anexo.

4.1.1 Umidade

A análise de variância para os teores de umidade, avaliados na carne embebida em salmoura, está mostrada na Tabela 7. As variações nas concentrações de sal alteraram significativamente os teores de umidade da carne (significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de F).

O teor de umidade da carne apresentou uma variação linear decrescente com respeito às concentrações de sal (significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de F). Os resultados estão de acordo com Romanelli e Felício (1995), que mostraram perda de peso (água) com o aumento da absorção de sal em carne de jacaré do pantanal (*Caiman crocodilus yacaré*). Esta diminuição linear no peso é observada até 5 e 7 horas de embebição.

TABELA 7 - ANAVA para os teores de umidade de carne embebida em salmoura a cinco concentrações (0-2-4-6 e 8%).

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Pr > F
Concentração de sal	4	16,78155	4,19539	4,906	0,0046
Erro	25	21,37920	0,85517		
Total	29	38,16075			

CV = 1,27%

A perda de água da carne ocorreu obedecendo o processo de osmose, que é entendida como sendo a difusão de moléculas de água da célula (concentração menor), para o meio onde a concentração de soluto é maior (salmoura).

Os resultados médios da análise de teor de umidade na carne, bem como a regressão e o coeficiente de determinação estão mostrados na Figura 7. As médias calculadas para cada concentração são mostradas na Tabela 4A do Anexo.

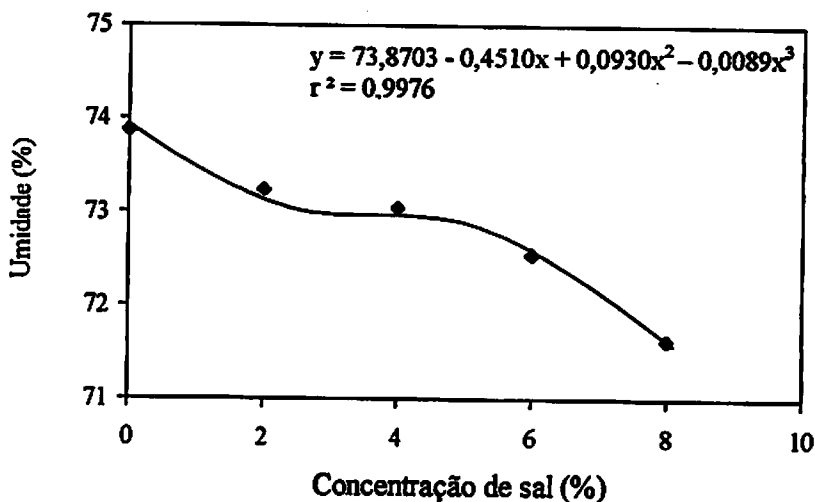


FIGURA 7 - Variação no teor de umidade da carne em função do aumento da concentração de sal (NaCl).

Pela curva observa-se que o incremento de sal na solução resulta num decréscimo no teor de umidade da carne, partindo de uma umidade inicial de 73,87%, isto para um período de 90 minutos de embebição.

4.1.2 Fração Protéica

Foi observada uma variação significativa ($p < 0,01$) no teor de proteína total da carne com respeito aos tratamentos propostos (Tabela 8).

TABELA 8 – ANAVA para os teores de proteína da carne embebida em salmoura a cinco concentrações (0-2-4-6 e 8%).

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Pr > F
Concentração de sal	4	27,37215	6,84304	15,729	0,0000
Erro	25	10,87663	0,43507		
Total	29	38,24879			

CV = 3,12%

O aumento na concentração da solução salina promoveu uma diminuição quadrática da proteína analisada na carne, dentro da faixa estudada, este comportamento está mostrado na Figura 8.

O comportamento decrescente observado na curva de teor de proteína, com respeito ao aumento na porcentagem de cloreto de sódio na salmoura, se dá pela solubilização da proteína sarcoplasmática em solução salina. Esta proteína solubilizada se perde com o conteúdo de água exsudada durante o processo de embebição em salmoura, (Stefansson e Hultin, 1994). A característica decrescente é explicada pelo comportamento da solubilização desta proteína, que é inversamente proporcional ao conteúdo de sal absorvido, ou seja, existe uma solubilização maior da proteína em concentrações mais baixas de sal e a taxa de solubilização é decrescida com o aumento desta concentração, (Stefansson e

Hultin, 1994).

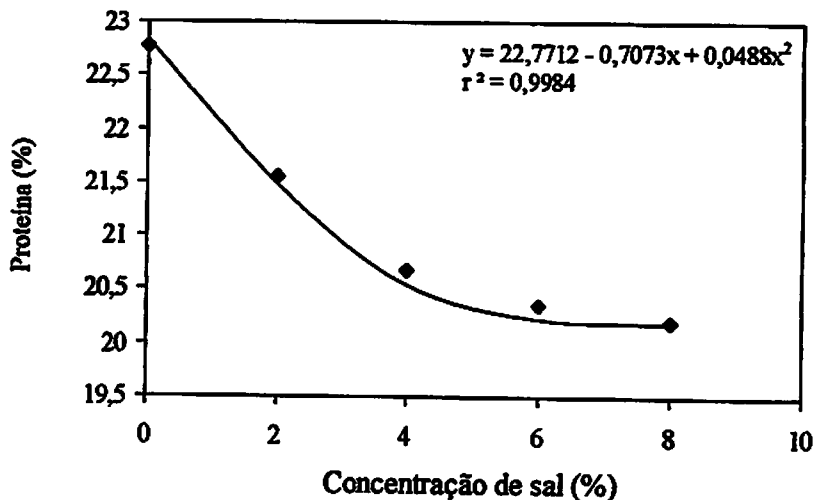


FIGURA 8 – Variação no teor de proteína da carne em função do aumento da concentração de sal (NaCl).

Os resultados encontrados estão em conformidade com o exposto por Krishnamurthy et al. (1996), que estudou o processo de solubilização da proteína de carne de frango e concluiu que 90% da proteína solúvel em solução salina é solubilizada em concentrações abaixo de 0,3mM (1,753%).

4.1.3 Cinza

As variações de concentração da salmoura promoveram diferenças quantitativas no teor de cinzas da carne (significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de F), conforme mostrado na Tabela 9.

O comportamento do teor de cinza com a variação na concentração da solução salina apresentou uma característica quadrática com taxas crescentes dentro da faixa de concentração avaliada. O resultado obtido com as análises realizadas, bem como os dados de regressão e coeficiente de determinação, estão mostrados na Figura 9. Esta variação quadrática pode ser explicada sob dois

fatores influentes no resultado apresentado: (1) absorção de cloreto de sódio pela carne que aumenta a quantidade de minerais no produto analisado; (2) o sal absorvido da solução cria uma força iônica interna maior na carne, retendo outros minerais presentes nela, evitando que estes se percam juntamente com o suco exsudado no processo da salga.

TABELA 9 – ANAVA para os teores de cinza da carne embebida em salmoura a cinco concentrações (0-2-4-6 e 8%).

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Pr > F
Concentração de sal	4	4,30275	1,07569	158,205	0,0000
Erro	25	0,16998	0,00680		
Total	29	4,47274			

CV = 6,08%

Os resultados encontrados estão de acordo com o apresentado por Schmidt (1994), que discutiu o comportamento dos componentes da carne durante o processamento.

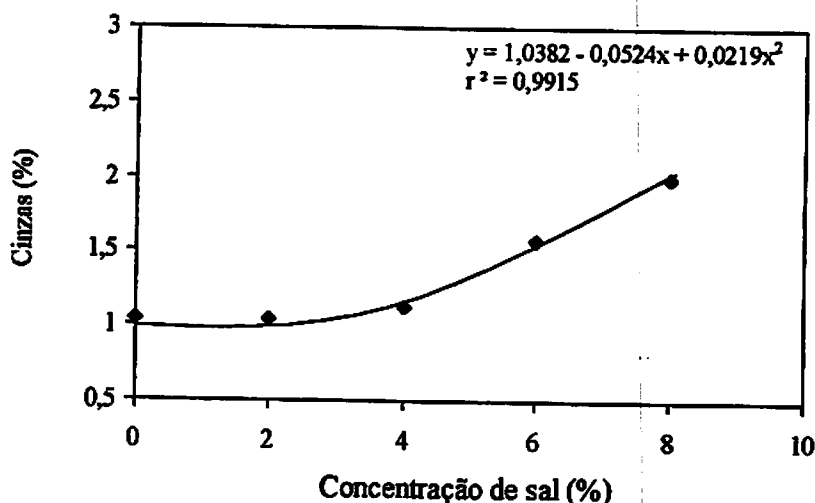


FIGURA 9 – Variação observada na quantidade de cinza da carne em função da concentração de sal (NaCl) na salmoura.

4.1.4 Concentração de íons de hidrogênio, (pH)

Foram realizadas medidas de pH nos cubos de carne após congelados para verificar a influência causada pelo aumento do sal na solução, visto que alguns autores citam o pH como sendo fator influente no tempo de congelamento. Os resultados desta análise não apresentaram uma diferença estatística significativa conforme mostrado na Tabela 10.

TABELA 10 – ANAVA para os valores de pH medidos após o congelamento da carne embebida em salmoura a cinco concentrações (0-2-4-6 e 8%).

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Pr > F
Concentração de sal	4	0,01544	0,00386	0,670	0,6274
Erro	10	0,05760	0,00576		
Total	14	0,07304			

CV = 1,36%

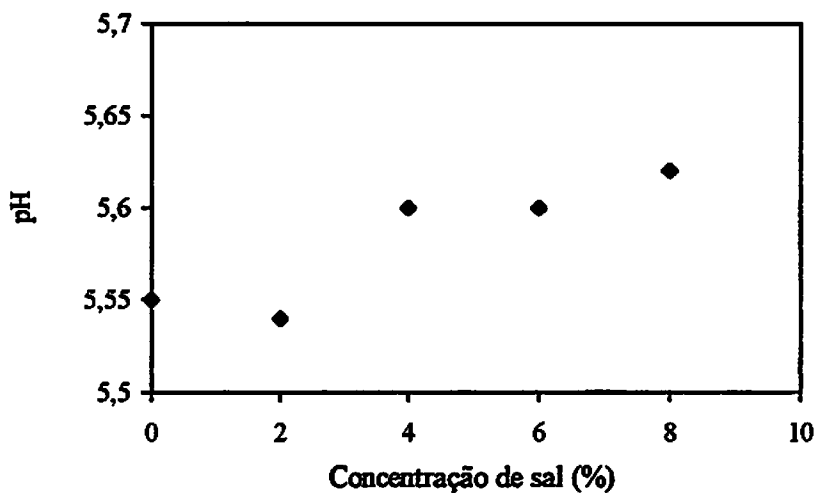


FIGURA 10 – Variação observada no pH da carne congelada em função da concentração de sal (NaCl) na salmoura.

4.1.5 Cloreto (NaCl)

Foram executadas análises com os cubos de carne com o objetivo de se analisar o índice de absorção de sal (NaCl) com respeito às variações das concentrações da salmoura. Conforme mostrado na Tabela 11, houve diferença significativa ($p < 0,01$) na quantidade de sal absorvido com a variação das concentrações.

O processo de absorção de sal decorre de uma transferência de massa do meio de maior para o de menor concentração de soluto. Este processo físico é conhecido como difusão. A difusão é um fenômeno onde as moléculas de um soluto dispersas em meio líquido tendem a se distribuir de maneira homogênea por todo o sistema. Quanto maior for a diferença entre as concentrações, maior será a velocidade de difusão. No caso estudado, a membrana plasmática, que separa as duas concentrações diferentes é permeável ao sal e por isso existe uma migração destas moléculas, de tamanho reduzido, para o interior da célula.

TABELA 11 – ANAVA para os valores de cloreto (NaCl) observados em carne embebida em salmoura a cinco concentrações (0-2-4-6 e 8%).

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Pr > F
Concentração de sal	4	1,99967	0,49992	97,513	0,0000
Erro	10	0,05127	0,00513		
Total	14	2,05093			

CV = 5,84%

O processo de difusão observado apresentou uma variação linear crescente com o aumento da concentração da solução conforme mostrado na Figura 11. Na Tabela 8A do Anexo são mostradas as quantidades de sal absorvidas pela carne durante o processo de salga.

O resultado encontrado está em conformidade com Romanelli e Felício (1995), que encontraram dados semelhantes com a salga em salmoura de carne de jacaré do pantanal (*Caiman crocodilus yacaré*).

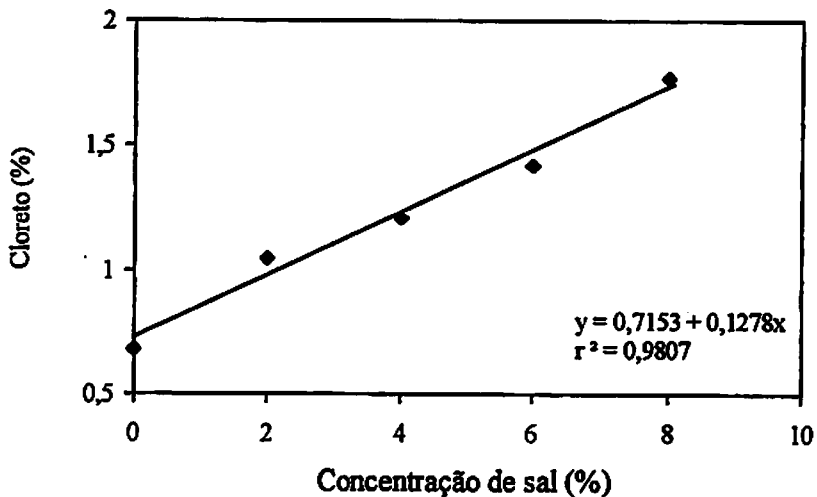


FIGURA 11 – Variação observada no conteúdo total de sal (NaCl) na carne embebida por 90 minutos em cinco concentrações de salmoura.

4.1.6 Perda de peso por cozimento

Um dos fatores de maior importância no que diz respeito à qualidade sensorial da carne é a suculência, variável que está diretamente ligada a este atributo é a quantidade de líquido retido na carne durante o processamento térmico e outros. Por isso existe uma grande preocupação em todos os métodos propostos em quantificar o seu efeito na variável perda de peso por cozimento.

As análises de perda de peso por cozimento realizadas com a carne salgada e congelada apresentaram variações em suas médias quando alterados os valores das concentrações da solução salina de imersão (significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de F). A análise de variância destas médias estão mostradas na Tabela 12.

TABELA 12 – ANAVA para os valores médios de perda de peso por cocção avaliados em carne embebida em salmoura a cinco concentrações (0-2-4-6 e 8%) e congeladas.

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Pr > F
Concentração de sal	4	42,54129	10,63532	3,999	0,0343
Erro	10	26,59500	2,65950		
Total	14	69,13629			

CV = 5,14%

O comportamento da variável perda de peso por cozimento (PPC) apresentou uma característica quadrática com respeito ao aumento da concentração da solução salina. Conforme mostrado na Figura 12, houve um aumento na perda de peso da carne até o patamar de 4% de sal na solução, após este ponto foi observada uma diminuição na perda de peso, ou uma maior capacidade de retenção de água da carne.

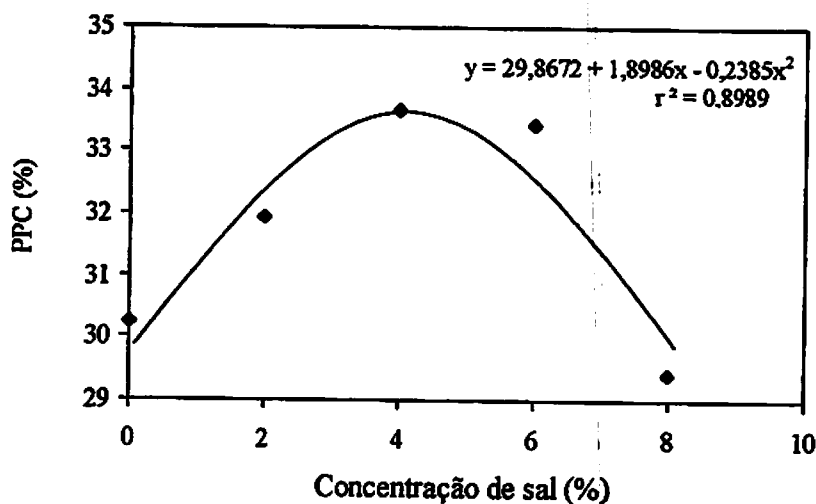


FIGURA 12 – Variação na perda de peso por cozimento (PPC) apresentada pela carne embebida por 90 minutos em cinco concentrações de salmoura e congelada.

O sal usado em baixas concentrações provoca o aumento na capacidade de retenção de água devido à repulsão eletrostática das cadeias peptídicas adjacentes, originada pela ligação dos íons salinos. Mas à medida que o sal se difunde no interior do músculo, forma-se um complexo com as proteínas que têm uma pressão osmótica elevada, provocando um fluxo no sentido inverso ao da água.

Quando comparados os resultados encontrados neste trabalho com os dados encontrados por Petrovic et al. (1993), mostrados na Tabela 2 do Referencial Teórico, observa-se que os valores aqui encontrados se mostram inferiores ao reportados pelo trabalho citado, este resultado pode ser explicado pelo fato de que, no presente trabalho, trata-se de um recongelamento da carne.

Os resultados encontrados com a análise da PPC mostram, entretanto, que a capacidade de retenção de água teve um comportamento contrário até uma concentração de 4%, ou seja, houve uma maior perda de água com o aumento da concentração de sal. A partir desta concentração foi observada uma maior capacidade de retenção do líquido, resultando então numa concordância com o exposto por Pardi et al. (1993).

4.1.7 Resistência ao cisalhamento (textura)

Outro fator de grande importância na qualidade sensorial da carne é a textura ou consistência, que são tidas como as propriedades que mais interessam ao consumidor.

Os resultados das análises de resistência à tensão de cisalhamento, com uso do dinamógrafo, realizadas com a carne embebida em salmoura e congeladas, apresentaram diferenças significativas em suas médias, quando variada a concentração salina ($p < 0,01$). Os resultados da análise de variância das médias observadas estão mostradas na Tabela 13.

O comportamento apresentado pela análise da tensão máxima de cisalhamento - TMC da carne, com o aumento da concentração de sal de embebição, está mostrado na Figura 13.

Observa-se que o aumento no teor de sal na solução ocasionou uma menor tensão necessária ao cisalhamento até um valor mínimo de 6,01kgf/cm² (correspondente ao valor de 4% na concentração), após este valor o incremento de sal à solução resultou num aumento da tensão necessária para o seu rompimento.

TABELA 13 - ANAVA para os valores médios de resistência à tensão de cisalhamento avaliados em carne embebida em salmoura a cinco concentrações (0-2-4-6 e 8%) e congeladas.

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Pr > F
Concentração de sal	4	45,02690	11,25672	68,714	0,0000
Erro	145	23,75383	0,16382		
Total	149	68,78073			

CV = 6,04%

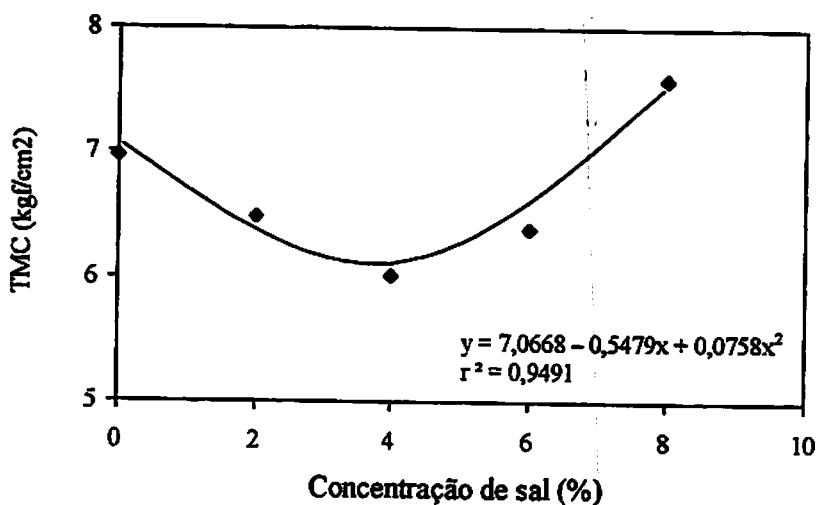


FIGURA 13 - Variação na tensão máxima de cisalhamento - TMC observada na carne embebida por 90 minutos em cinco concentrações de salmoura e congelada.

São incertos os fatores que afetam diretamente na textura da carne, existem referências que tratam o aumento do pH como sendo um elemento contribuinte na qualidade do produto.

Segundo Lawrie (1974), a maciez seria consequência do maior teor de água e da maior capacidade de retenção de água das proteínas musculares, bem como do estado de intumescimento das fibras musculares com pH elevado.

Os resultados apresentados, visto que na concentração de 8% de sal na solução a carne atingiu 1,77% de cloreto, estão em conformidade com Pardi et al. (1993), que afirma que o cloreto de sódio adicionado até uma concentração de 2% na carne melhora efetivamente a maciez do produto. Deve ser observado que no presente trabalho foi medida a porcentagem de íons de cloro e não de NaCl, onde 1,77% de íons de cloro implica em uma concentração de 2,95% de NaCl na carne.

4.2 Efeito do sal (NaCl) no desempenho de congelamento da carne

Procurou-se acompanhar algumas influências do sal no congelamento da carne através de suas curvas de congelamento. Nas figuras 14, 15, 16, 17 e 18 encontram-se as curvas médias resultantes do congelamento dos 75 cubos modelo realizados em cinco tratamentos.

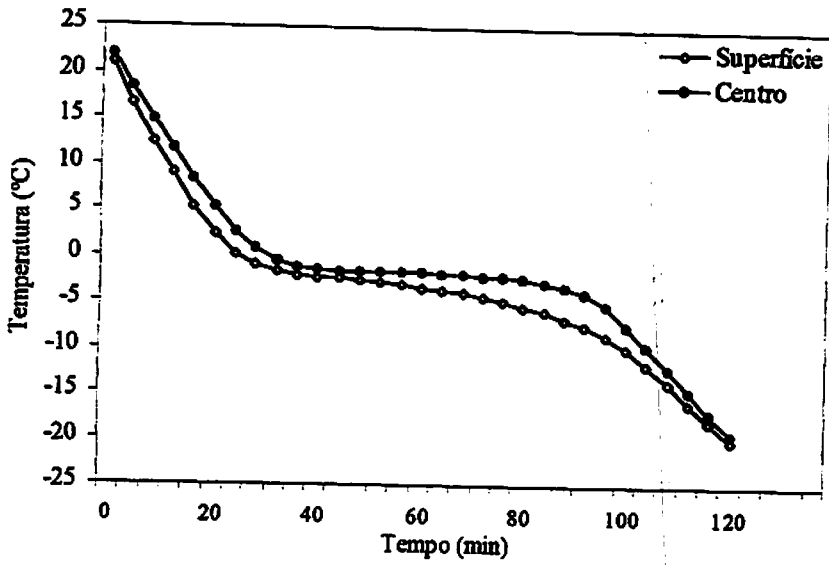


FIGURA 14 – Curva média do congelamento da carne não embebida em salmoura, Tratamento 1 (obtida pela média de 15 curvas).

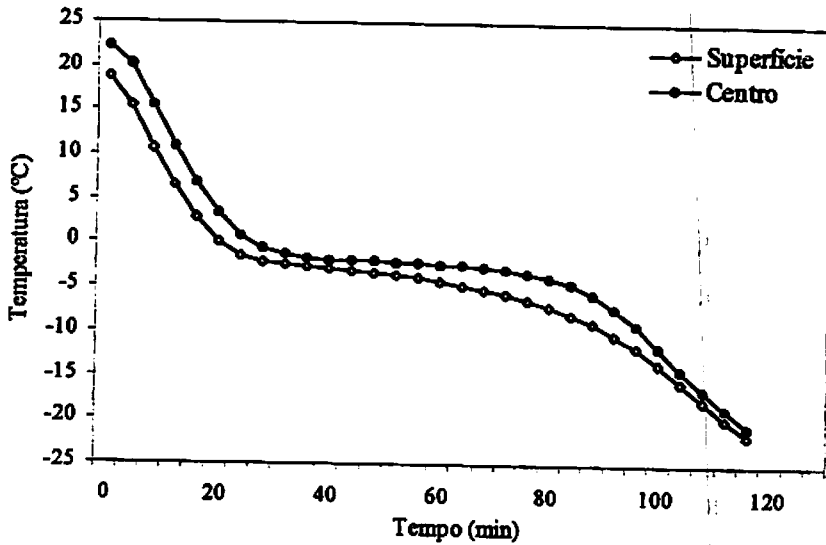


FIGURA 15 – Curva média do congelamento da carne embebida em salmoura, Tratamento 2 – 2,0% de NaCl (obtida pela média de 15 curvas).

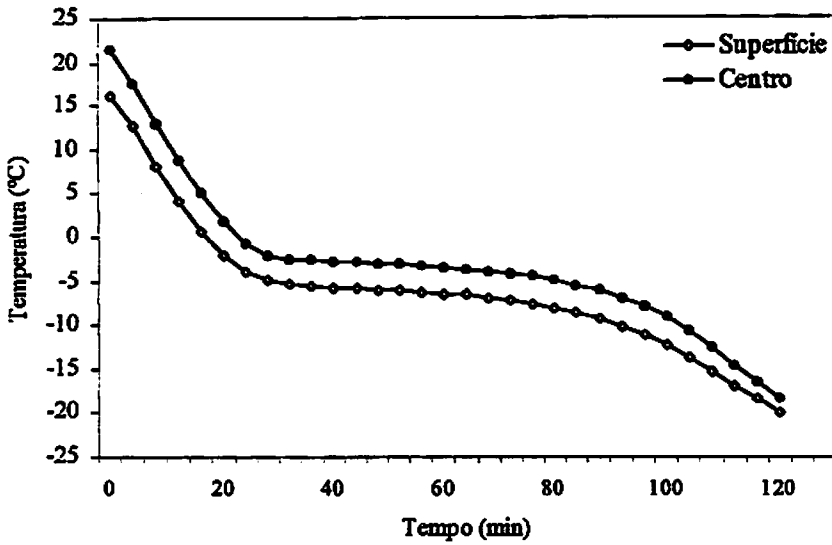


FIGURA 16 – Curva média do congelamento da carne embebida em salmoura, Tratamento 3 – 4,0% de NaCl (obtida pela média de 15 curvas).

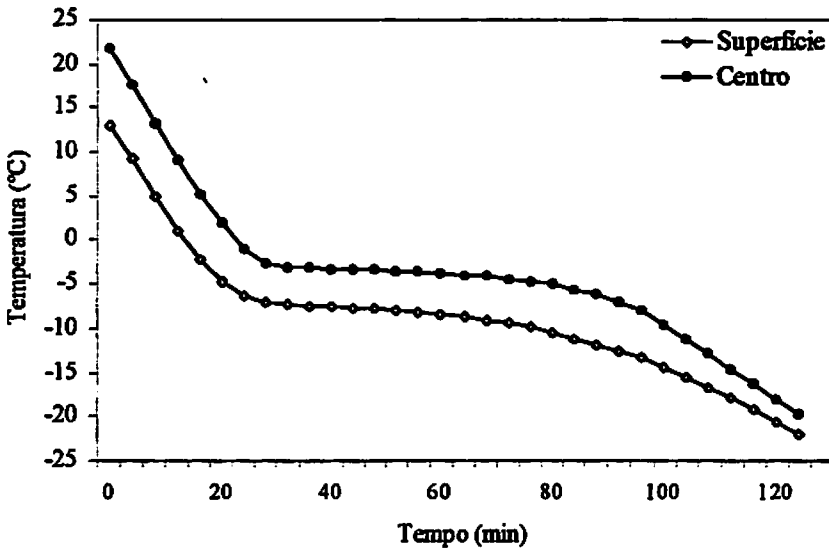


FIGURA 17 – Curva média do congelamento da carne embebida em salmoura, Tratamento 4 – 6,0% de NaCl (obtida pela média de 15 curvas).

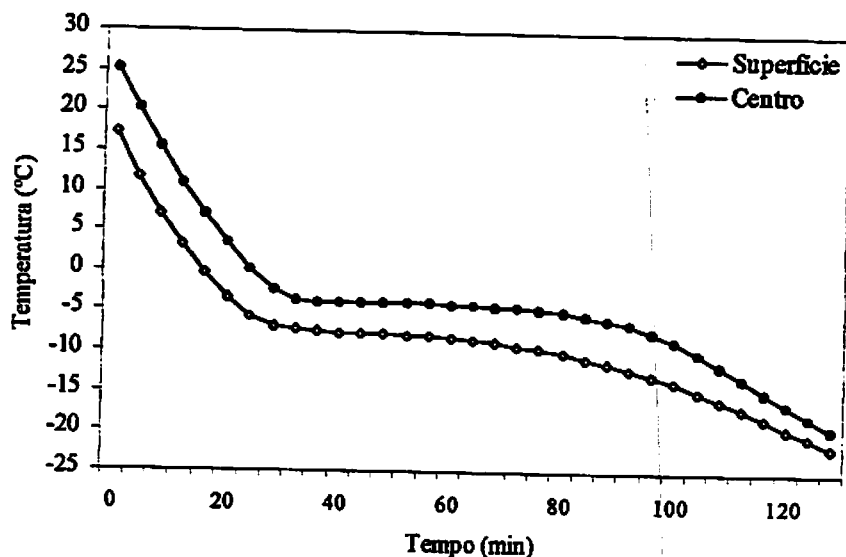


FIGURA 18 – Curva média do congelamento da carne embebida em salmoura, Tratamento 5 – 8,0% de NaCl (obtida pela média de 15 curvas).

A Figura 19 mostra a superposição das cinco curvas de congelamento, relativas às concentrações propostas, observadas no centro da amostra. As temperaturas iniciais de refrigeração, conforme mostrado na Figura 19, partem de pontos diferentes devido ao artifício da superposição, para isto foram descartados alguns pontos relativos ao início de resfriamento dos cubos do Tratamento 1. Esta superposição teve como objetivo facilitar o entendimento e explicação dos resultados encontrados.

Pela Figura 19 pode ser observado que o resfriamento inicial da carne (até 0°C) teve um comportamento semelhante em todas as concentrações de embebição, excetuando na concentração de 0,0% de sal, que teve uma taxa de resfriamento menor. Este resultado pode ser explicado por dois fatores: (1) maior teor de umidade da carne, conseqüente de uma menor perda no processo de salga, aumentando a quantidade de energia interna no produto e resultando assim, num processo mais lento para remoção do calor sensível; (2) o sal aumentou a condutividade térmica da carne, com isso os cubos embebidos em

sal transferiram o calor com uma resistência menor da superfície para o centro, aumentando a taxa de resfriamento.

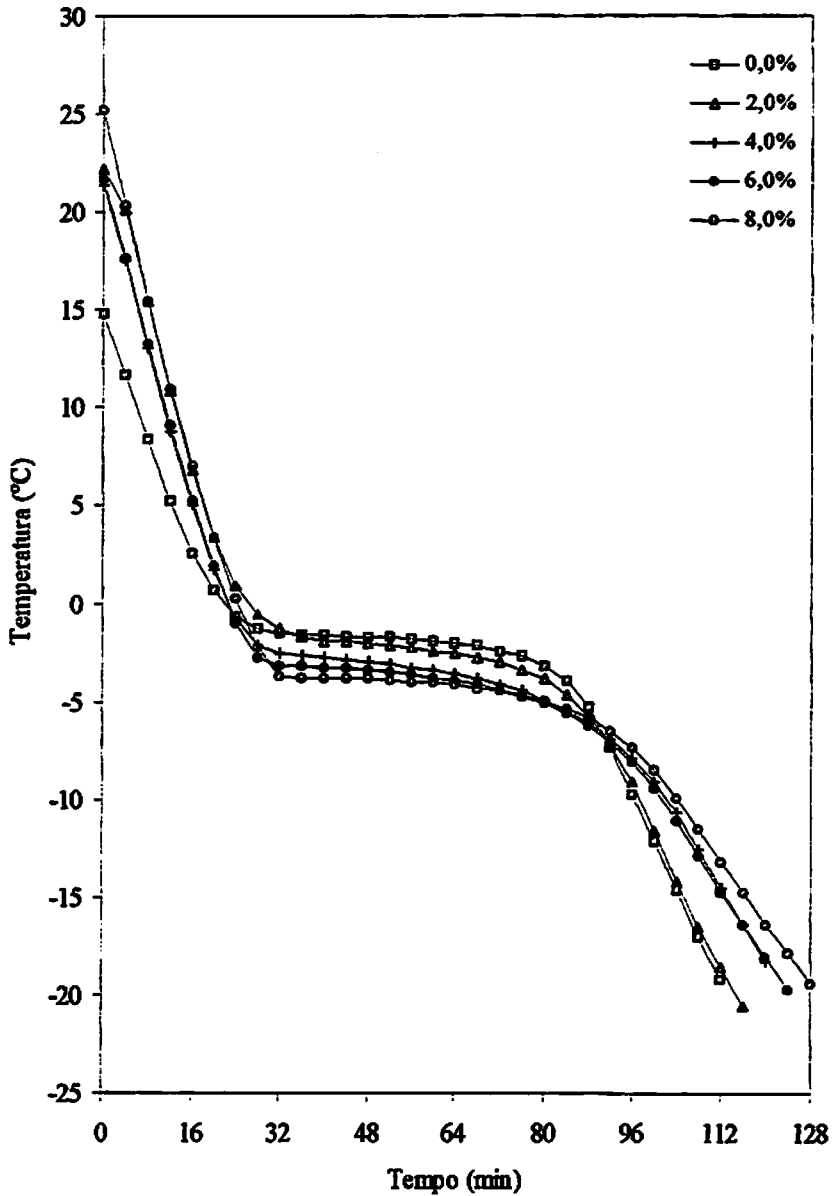


FIGURA 19 – Curvas de congelamento apresentadas pela carne embebida em cinco concentrações de sal (0,0 – 2,0 – 4,0 – 6,0 e 8,0%).

Outro ponto que deve ser observado na Figura 19 é a maior taxa de variação da temperatura nas carnes com menor teor de sal (0,68% e 1,05%), após o congelamento. Este comportamento contrário ao da refrigeração é devido à quantidade de água não congelada, que é maior nas carnes com teor de sal mais elevado (1.21, 1.42 e 1.77%). O sal diminui a disponibilidade de água livre no sistema, aumentando a quantidade de água que irá congelar a uma temperatura mais baixa. Este processo é melhor entendido quando se conhece o conceito de ponto eutético, que é a temperatura na qual todos os líquidos susceptíveis ao congelamento de um sistema se solidificam.

4.2.1 Efeito do sal na Depressão do Ponto de Congelamento (DPC) da carne

De acordo com o apresentado no item 2.4 deste trabalho, o ponto inicial de congelamento de um sistema pode ser abaixado adicionando-se a ele um soluto. A causa principal desta Depressão do Ponto de Congelamento (DPC) de um produto é a quantidade de soluto presente em solução. Com o início do congelamento de uma porção do líquido, aumenta-se a concentração do soluto remanescente. Esta elevada concentração resultante acarreta uma maior quantidade de energia necessária para que se solidifique este solvente, e assim sucessivamente diminuindo a temperatura de congelamento.

Conforme mostrado na Tabela 14, foi significativa a adição de sal à carne quando comparadas as variações das médias da temperatura inicial de congelamento ($p < 0,01$). Nas Tabelas 5A e 7A do Anexo são mostrados os resultados dos cálculos da Depressão do Ponto de Congelamento da carne (médias por tratamento).

Conforme mostrado na Figura 20, a adição de sal à carne resultou em uma Depressão do Ponto de Congelamento (DPC), porém, na concentração de 2,0% de sal na solução, equivalente a 1,05% de cloreto na carne, foi observado

um aumento na temperatura inicial de congelamento de $-1,51^{\circ}\text{C}$ para $-1,46^{\circ}\text{C}$.

TABELA 14 – ANAVA para a Depressão do Ponto de Congelamento da carne embebida em salmoura a cinco concentrações (0-2-4-6 e 8%).

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Pr > F
Concentração de sal	4	61,48667	15,37167	119,028	0,0000
Erro	70	9,04000	0,12914		
Total	74	70,52667			

CV = -14,53%

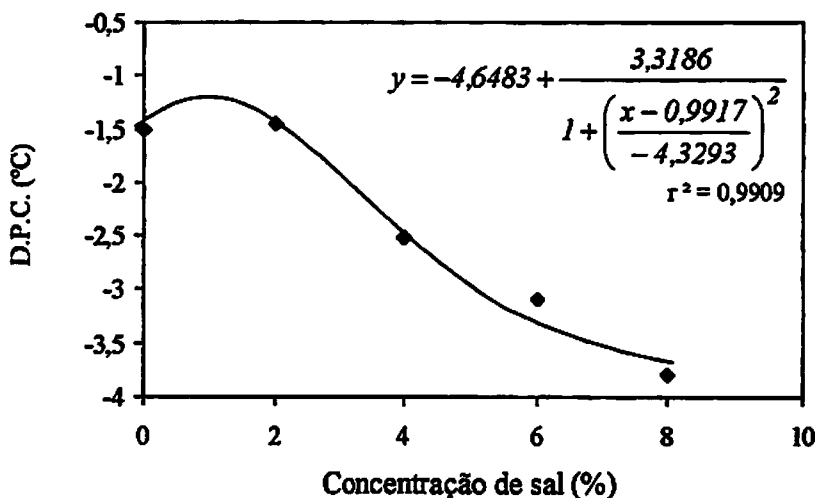


FIGURA 20 – Efeito do sal na Depressão do Ponto de Congelamento (DPC) de carne embebida em cinco concentrações (0,0 – 2,0 – 4,0 – 6,0 e 8,0%).

Na Tabela 15 são mostrados os resultados encontrados na predição da depressão do ponto de congelamento comparados com os dados experimentais observados. Na Tabela 9A do Anexo são mostrados os resultados parciais do cálculo feito.

TABELA 15 – Comparação entre os valores preditos e experimentais observados para a depressão do ponto de congelamento de carne embebida em cinco concentrações de salmoura.

Concentração da solução (%)	Depressão do ponto de congelamento (°C)		Erro (%)
	predito	observado	
0,0	-1,004062	-1,5067	-50,0605
2,0	-1,060340	-1,4600	-37,6917
4,0	-1,076758	-2,5133	-133,4136
6,0	-1,121759	-3,0867	-175,1661
8,0	-1,202965	-3,8000	-215,8862

Pelos altos valores apresentados pelo erro calculado na comparação dos dados, pode-se concluir que a depressão do ponto de congelamento da carne estudada é causada quase que totalmente pelo ação do sal adicionado à carne e não ao efeito deste sobre a variação da umidade do produto. Pode-se considerar como fonte de erro a variação do teor de gordura nos tratamentos, umidade, erro experimental entre outros.

4.2.2 Efeito do sal na Depressão da Temperatura Final de Congelamento

A causa principal da Depressão da Temperatura Final de Congelamento (DTFC) de um produto está diretamente ligada à quantidade e o tipo de água neste, segundo a definição de Fennema (1976). A água livre no sistema congela com maior facilidade, de maneira oposta, a água presa exige uma maior quantidade de energia para se solidificar. A DTFC está diretamente ligada ao efeito do sal na água do sistema. Uma maior quantidade de sal adicionada ao produto aumenta a porcentagem de água presa, aumentando a quantidade de energia necessária no congelamento, diminuindo a temperatura de solidificação.

A adição de sal à carne promoveu uma variação na depressão da temperatura final de congelamento (significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de F), conforme mostrado na Tabela 16.

TABELA 16 – ANAVA para a depressão da temperatura final de congelamento da carne embebida em salmoura a cinco concentrações (0-2-4-6 e 8%).

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Pr > F
Concentração de sal	4	17,42080	4,35520	11,388	0,0000
Erro	70	26,77067	0,38244		
Total	74	44,19147			

CV = -12,15%

O comportamento da depressão da temperatura final de congelamento – DTFC dos cubos de carne analisados, apresentou uma variação quadrática com respeito à variação da concentração salina, os resultados estão mostrados na Figura 21.

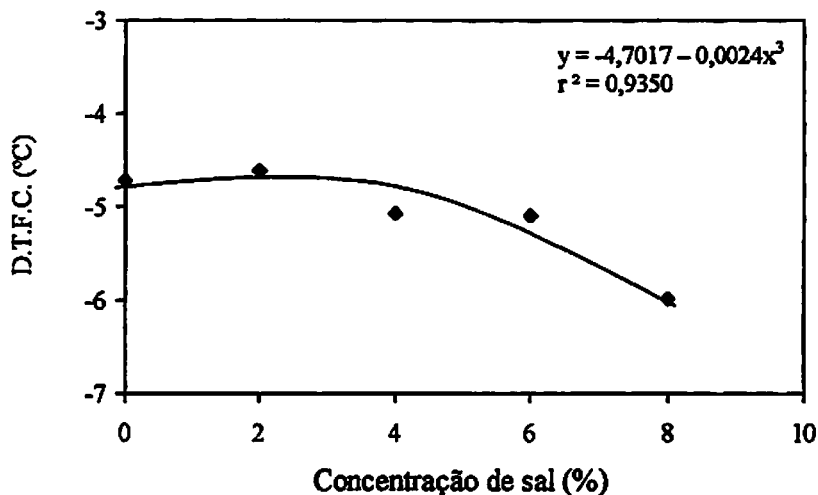


FIGURA 21 – Efeito do sal na depressão da temperatura final de congelamento – DTFC de carne embebida em cinco concentrações (0,0 – 2,0 – 4,0 – 6,0 e 8,0%).

A adição de sal à carne aumentou a concentração do sistema água-soluto, resultando uma maior DTFC quando comparada com a carne sem adição de sal, porém este fato não foi observado na concentração de 1,05% de sal na carne (Tratamento 2), que teve sua depressão menor que as demais.

4.2.3 Efeito do sal no tempo nominal de congelamento

Um fator de grande importância na qualidade da carne congelada é o tempo necessário para que se proceda a mudança de estado. As medidas realizadas para o cálculo do tempo nominal de congelamento tiveram como objetivo analisar o efeito do sal na variação deste tempo.

Os resultados obtidos apresentaram diferenças significativas em suas médias ($p < 0,01$), quando variadas as concentrações da solução. A análise de variância realizada para esta propriedade está mostrada na Tabela 17.

TABELA 17 - ANAVA para o tempo nominal de congelamento da carne embebida em salmoura a cinco concentrações (0-2-4-6 e 8%).

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Pr > F
Concentração de sal	4	2192,7467	548,1867	42,051	0,0000
Erro	70	912,5333	13,0362		
Total	74	3105,2800			

CV = 4,53%

A variação causada pelo sal no tempo nominal de congelamento - TNC está mostrada na Figura 22.

Como pode ser observado pelo gráfico houve um aumento do tempo nominal de congelamento com o incremento do sal na solução, este resultado pode ser atribuído a três fatores: (1) maior taxa de variação de temperatura após

o congelamento, implicando num menor tempo para se atingir 5°C abaixo da temperatura inicial do congelamento; (2) diminuição da temperatura inicial de congelamento, reduzindo diretamente a temperatura final desta, usada como fonte de cálculo para o T.N.C.; (3) a depressão do ponto de congelamento, que é maior em concentrações mais altas, provocando uma maior quantidade de energia necessária para se variar a temperatura.

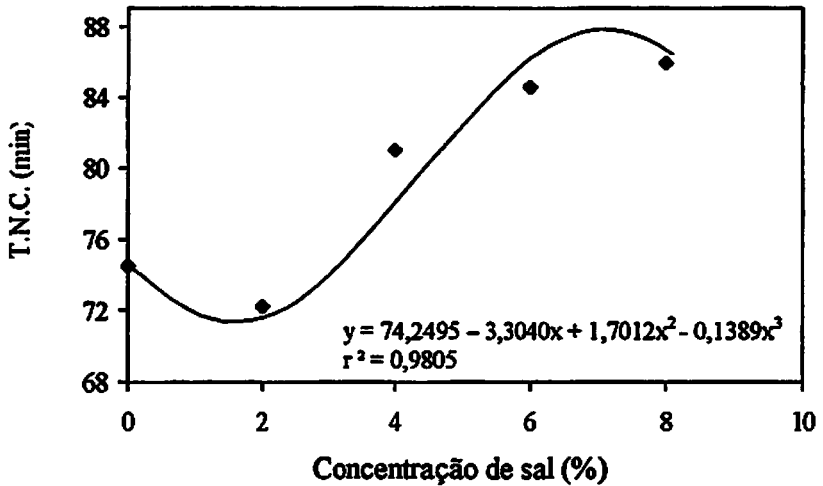


FIGURA 22 – Efeito do sal no tempo nominal de congelamento – T.N.C. de carne embebida em cinco concentrações (0,0 – 2,0 – 4,0 – 6,0 e 8,0%).

Esta reação de aumento do T.N.C. mostrada não foi detectada para a concentração de 2,0% da solução, neste ponto verificou-se uma redução significativa deste tempo, comprovando, em parte, a hipótese do sal diminuir o tempo de congelamento da carne. Este ponto ótimo encontrado é decorrente da interação de vários fatores influentes no processo de congelamento, como teor de umidade mais baixo quando comparado com as maiores concentrações na solução, condutividade térmica melhorada pela adição de sal, temperatura do ponto inicial de congelamento mais alta que nos demais tratamentos e menor

depressão do ponto de congelamento.

4.2.4 Efeito do sal na taxa de congelamento

Outro fator de influência na qualidade da carne congelada é a taxa na qual se processou o seu congelamento, esta taxa de congelamento é calculada pela razão da distância mínima da superfície ao centro térmico do produto pelo tempo nominal do seu congelamento, como no experimento realizado foi padronizado o tamanho do cubo modelo, a taxa de congelamento é diretamente variada pelo tempo nominal de congelamento. Com isso a taxa de congelamento da carne, que é inversamente proporcional ao T.N.C., tem sua avaliação semelhante à feita para o T.N.C, ou seja, a maior taxa de congelamento ocorre com o menor tempo de congelamento.

Os resultados da análise de variância para a taxa de congelamento da carne embebida em sal estão mostrados na Tabela 18.

TABELA 18 - ANAVA para a taxa de congelamento da carne embebida em salmoura a cinco concentrações (0-2-4-6 e 8%).

Fonte de variação	G.L.	SQ	QM	F	Pr > F
Concentração de sal	4	0,81277	0,20319	44,408	0,0000
Erro	70	0,32029	0,00458		
Total	74	1,13307			

CV = 4,46%

A Figura 23 mostra a variação dos resultados encontrados para a taxa de congelamento da carne em função do teor de sal na solução.

É portanto observado que a taxa de congelamento da carne embebida em salmoura por 90 minutos teve seu valor médio reduzido quando aumentada a

concentração de sal na solução. A concentração de 1,05% de sal na carne teve, entretanto, uma característica peculiar detectada. Nesta concentração houve um aumento da taxa de congelamento da carne, que teoricamente melhora a qualidade do processo de congelamento. Este resultado está intimamente associado à menor depressão do ponto de congelamento registrada na carne com 1,05% de sal.

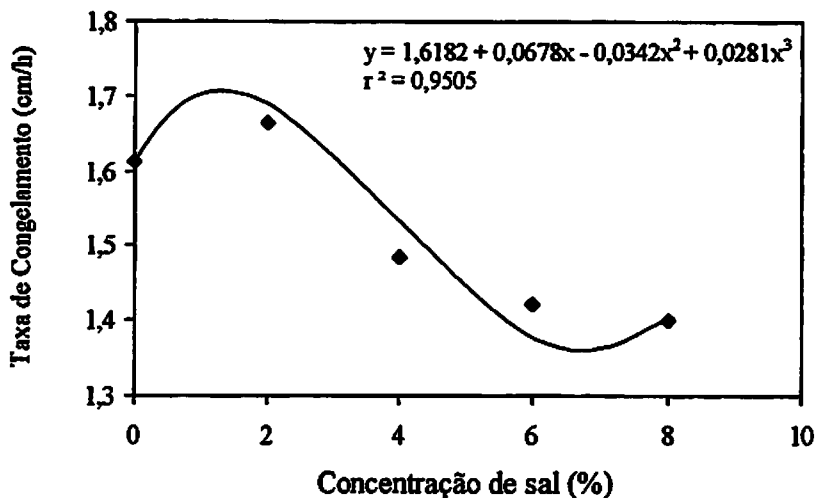


FIGURA 23 – Efeito do sal na taxa de congelamento de carne embebida em cinco concentrações (0,0 – 2,0 – 4,0 – 6,0 e 8,0%).

5 CONCLUSÕES

A embebição de carne em salmoura à 2,0% por 90 minutos promove uma diminuição de 3,13% no tempo de congelamento da carne, induzindo uma taxa de congelamento maior, comprovando a hipótese apresentada.

A adição de sal (NaCl) à carne pelo método de imersão reduz de 73,9% para 71,64% o seu teor de umidade, quando variadas as concentrações de 0,0% para 8,0% respectivamente.

A concentração de 8,0% na solução, elevando a concentração de cloreto de sódio de 0,68% para 1,77% na carne, acarreta uma menor perda de peso por cocção, beneficiando a capacidade de retenção de água e melhorando portanto a qualidade da carne cozida.

O aumento da concentração da salmoura de imersão reduz significativamente o teor de proteína de 22,77% para 20,21%, diminuindo o valor nutritivo da carne.

A adição de sal à carne aumenta a quantidade de minerais presentes de 1,04% para 2,0%, adicionando e retendo minerais na carne.

A textura da carne congelada é beneficiada com a adição de sal até uma concentração de 6,0% na solução (1,42% na carne), a melhor textura é alcançada numa concentração de 4,0% na solução (1,21% na carne).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis.15.ed. Arlington, 1990, 1140p.**
- BHUMBLA, V.K.; SINGH, A.K.; SINGH, Y. Prediction of thermal conductivity of fruit juices by a thermal resistance model. Journal of Food Science, Chicago, v.54,n.4, p.1007-1012, 1989.**
- CANHOS, D.A.L.; DIAS, E.L. Tecnologia de carne bovina e produtos derivados. São Paulo: Fundação Tropical de Pesquisa e Tecnologia, 1983. 439p.**
- CHANDRA, P.K.; SINGH, R.P. Applied numerical methods for food and agricultural engineers. Boca Raton: CRC Press, 1994, 512p.**
- CHANG, H.D.; TAO, L.C. Correlation of enthalpies of food systems. Journal of Food Science, Chicago, v. 46, p.1493, 1981.**
- CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H.; BESANÇON, P. Introdução a la bioquímica y tecnologia de los alimentos, Zaragoza: Acribia, 1982. v.2, p. 175-187.**
- CHEN, C.S. Effective molecular weight of aqueous solutions and liquid foods calculated from the freezing point depression. Journal of Food Science, Chicago, v.51, n. 6, p.1573-1583, 1986.**

- CHEN, C.S.** Thermodynamic analysis of the freezing and thawing of foods: Enthalpy and apparent specific heat. *Journal of Food Science, Chicago*, v. 50, n.4, p.1163-1166, 1985.
- CHEN, C.S.** Relationship between water activity and freezing point depression of food systems. *Journal of Food Science, Chicago*, v.52, n.2, p.433-435, 1987.
- CHEN, C.S.; NAGY, S.** Prediction and correlation of freezing point depression of aqueous solutions. *Transactions of the ASAE, Westport*, v.30, n.4, p.1176-1180, 1987.
- CHUNG, S.L.; MERRITT J.H.** Freezing time modeling for small finite cylindrical shaped foodstuff. *Journal of Food Science, Chicago*, v.56, n. 4, p.1072-75, 1991.
- CIA, G.; FELÍCIO, P.E.** Resfriamento e congelamento de carne. Campinas: CTC-ITAL, 1978. p.1-45, (Boletim Técnico, 1).
- CLELAND, A.C.; EARLE, R.L.** Assessment of freezing time prediction methods. *Journal of Food Science, Chicago*, v. 49, n.4, p.1034-1042, 1984.
- DE MICHELIS, A.; CALVELO, A.** Freezing time predictions for brick and cylindrical-shaped foods. *Journal of Food Science, Chicago*, v.48, n.3, p.909-913, 1983.
- DICKERSON, JR. R. W.** Thermal properties of foods. In: **TRESSLER, D.K.; VAN ARSDEL, W.B.; COPLEY, M.J.** The freezing preservation of foods. Westport, Connecticut: The AVI, 1968, 397p.

LIBRARY CENTRAL - ULA

DRANSFIELD, E. Influence of freezing on the eating quality of meat. In: **Meat Freezing -Why? and How?**. Langford: 1974. p.9.1-9.5. Meat Research Institute Symposium. n.3.

FELLOWS, P. **Tecnología del procesado de los alimentos: principios y prácticas**. Zaragoza: Acribia, 1994. 549p.

FENNEMA, O.R.; POWRIE, W.D.; MARTH, E.H. **Low-temperature preservation of foods and living**. New York: M. Dekker, 1973. 754p.

FORREST, J.C.; ABERLE, E.D.; HEDRICK, H.B.; JUDGE, M. D.; MERKEL, R. A. **Fundamentos de ciencia de la carne**. Zaragoza: Acribia, 1979, 364p.

FRAZIER, W.C. **Food microbiology**. 2.ed. New York: McGraw Hill Book, 1967. 537p.

GERHARDT, U. **Ciencia e tecnología de la carne, teoría e práctica: aditivos e ingredientes**. Zaragoza: Acribia, 1980. 148p.

GIRARD, J.P. **Tecnología de la carne y de los productos cárnicos**, Zaragoza: Acribia, 1991. 300p.

GOUTEFONGEA, R. La Salazon. In: GIRARD, J.P. **Tecnología de la carne y de los productos cárnicos**. Zaragoza: Acribia, 1991. Cap.4, p125-149.

GRUDA, Z.; POSTOLSKI, J. **Tecnología de la congelacion de los alimentos**, Zaragoza: Acribia, 1986. 631p.

- GRUJIC, R.; PETROVIC, L.; PIKULA, B.; AMIDZIC, L. Definition of the optimum freezing rate-1. Investigation of structure and ultrastructure of beef *M. longissimus dorsi* frozen at different freezing rates, *Meat Science*, Oxford, v.33, p. 301-318, 1993.
- HAYAKAWA, K.; SUCCAR, J. A method to determine initial freezing point of foods. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 55, n.6, p.1711-1713, 1990.
- HELDMAN, D. R.; SINGH, R. P. *Food process engineering*, 2.ed. Westport, Connecticut: The AVI Publishing, 1981. 415p.
- HELDMAN, D. R. Predicting the relationship between unfrozen water fraction and temperature during food freezing using freezing point depression. *Transactions of the ASAE*, Westport, v.17, p.63, 1974.
- INTERNETIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION. *Recommendations for the processing and handling for frozen foods*. 2.ed. Paris, 1971.
- JAKOBSSON, B.; BERGTSSON, N. Freezing of raw-beef: influence of aging, freezing rate and cooking method on quality and yield. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 38, p.560-565, 1973.
- JAY, J. M. *Modern food microbiology*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1970. 328p.
- KRISHNAMURTHY, G.; CHANG, H.S.; HULTIN, H.O.; FENG, Y.; SRINIVASAN, S.; KELLEHER, S.D. Solubility of chicken breast muscle proteins in solutions of low ionic strength. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, Washington: American Chemical Society, 1994. n.42, p.2656-2664.

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Laboratório nacional de referência animal: Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes: ii – métodos físicos e químicos. Brasília: 1981.**
- LAWRIE, R.A. Meat science. 2.ed. Oxford: Pergamon, 1974. 357p.**
- LENIGER, H. A.; BEVERLOO, W.A. Food process engineering. Boston: D. Reidel, 1975. 550p.**
- LONG, R. A. Some thermodynamic properties of fish and their effect on the rate of freezing, Journal of Food Science, Chicago, v.6, p.621, 1955.**
- MASTROGIACCOMO, V. F. Funções dos ingredientes – Limites da Legislação. P79-98. In: Curso de tecnologia de carne, Campinas: CTC-ITAL, 1988, 153p. (Boletim Técnico, 7).**
- MELLO BECKER, L. O. Velocidade do ar em túneis para congelamento de carne desossada. Revista do Frio, São Paulo: n.127, p.15-21, 1976**
- MORAN, T. Rapid freezing of meat. In: CIA, G.; FELÍCIO, P. E. Resfriamento e congelamento de carne. Campinas: ITAL, 1978. p.1-45. (Boletim Técnico, 1).**
- NUSSENNZVEIG, H.M. Curso de física básica. 2.ed. São Paulo: E. Blucher, 1983. 502p.**
- PALMIA, F. La diffusione del sale nella carne: aspetti generali e calcolo del coefficiente de diffusione, Parma: Conserve, v.4, n.64, p309-312, 1989.**
- PARDI, M.C.; SANTOS, I.F.; SOUZA, E.R.; PARDI, H.S. Ciência, higiene e tecnologia da carne, Goiânia: Eduff, 1993. v1, 586p.**

- PAULI, R.U.; MAUAD, F.C.; HEILMANN, H.P. Física 2: calor e termodinâmica. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 1978. v.2, 242p.
- PETROVIC, L.; GRUJIC, R.; PETROVIC, M. Definition of the optimum freezing rate-2. Investigation of the physico-chemical properties of beef *M. longissimus dorsi* frozen at different freezing rates. *Meat Science*, Oxford, v.33, p. 319-331, 1993.
- PLANK, R. *Handbuck der Kaltetechnik*. Berlin: Springer, 1960. v.10, p.22.
- RAHMAN, S. Md. The accuracy of prediction of the freezing point of meat from general models. *Journal of Food Engineering*, Oxford, v.21, p.127-36, 1994.
- REID, D.S. Fundamental physicochemical aspects of freezing. *Food Technology*, Chicago, v.37, n.4, p.110-115, Apr.1983.
- ROMANELLI, P. F.; FELÍCIO, P. E. Estudo da salga da carne de jacaré do pantanal *Caiman crocodilus yacaré*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.3, n.15, p251-254, 1995.
- SANZ, P.D.; DOMINGUES, M.; MASQUERONI, R.H. Equations for the prediction of thermophysical properties of meat products. *Latin America Applied Research*. v.19, p.155-160, 1989.
- SCHMIDT, G.R. Comportamiento funcional de los componentes de la carne durante el procesado. In: PRICE, J.F.; SCHWEIGERT, B.S. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. 2.ed. Zaragoza: Acribia, 1994. p.377-392.

SCHWARTZBERG, H. Effective heat capacities for the freezing and thawing of food. *Journal of Food Science*, v.41, n.1, p.152-156, 1976.

SCHWEIGERT, B.S. Contenido en nutrientes y valor nutritivo de la carne y los productos cárnicos. In: PRICE, J.F.; SCHWEIGERT, B.S. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos*. 2ed. Zaragoza: Acribia, 1994. p.249-278.

SINGH, R.P.; HELDMAN, D.R. *Introduction to food engineering*. Orlando: Academic, 1984. 306p.

STEFANSSON, G.; HULTIN, H. On the solubility of cod muscle proteins in water. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. Washington, n.42, p.2656-2664. 1994.

TERRA, N. N. Princípios da fermentação de produtos cárneos (culturas "STARTER"), p99-110. In: *Curso de tecnologia de carne*, Campinas: CTC-ITAL, 1988. 153p, (Boletim Técnico, 7).

TRGO, C. KOXHOLT, M., KESSLER, H.G. Influences on formation and growth of ice crystals in icecream. In: JOWITT, R. *Engineering & food at ICEF 7*. London: Sheffield: Academic, 1997. Pt.1, p. A45-A48.

SECRET

1. The purpose of this document is to provide information regarding the activities of the organization in the area of international relations.

2. The organization has been active in the area of international relations since its inception in 1950.

3. The organization has been active in the area of international relations since its inception in 1950.

ANEXOS

4. The organization has been active in the area of international relations since its inception in 1950.

5. The organization has been active in the area of international relations since its inception in 1950.

6. The organization has been active in the area of international relations since its inception in 1950.

7. The organization has been active in the area of international relations since its inception in 1950.

8. The organization has been active in the area of international relations since its inception in 1950.

9. The organization has been active in the area of international relations since its inception in 1950.

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1A	Valores encontrados nas análises de umidade, proteína e cinza de carne embebida em cinco concentrações de salmoura.	74
2A	Valores encontrados nas análises de pH, cloreto e perda por cozimento de carne embebida em cinco concentrações de salmoura.	75
3A	Tensão de cisalhamento medida em carne embebida em cinco concentrações de salmoura.	75
4A	Valores médios calculados para umidade, proteína, cinza, pH, cloreto, perda por cozimento e tensão de cisalhamento em carne embebida em cinco concentrações de salmoura.	76
5A	Valores medidos para depressão do ponto de congelamento e depressão da temperatura final de congelamento em carne embebida em cinco concentrações de salmoura.	76
6A	Valores medidos para tempo nominal de congelamento e taxa de congelamento calculada para carne embebida em cinco concentrações de salmoura.	77
7A	Valores médios calculados para depressão do ponto de congelamento (D.P.C.), depressão da temperatura final de congelamento (D.T.F.C), tempo nominal de congelamento (T.N.C.) e taxa de congelamento (Tx. C.) de carne embebida em cinco concentrações de salmoura.	77
8A	Quantidades de sal absorvidas pela carne durante o processo embebição por 90 minutos em cinco concentrações de salmoura.	78

9A Resultados parciais do cálculo dos parâmetros para a depressão do ponto de congelamento de carne. 78

TABELA 1A – Valores encontrados nas análises de umidade, proteína e cinza de carne embebida em cinco concentrações de salmoura.

Concentração de sal (%)	Propriedade			
	Repetição	Umidade (%)	Proteína (%)	Cinza (%)
0,0	1	73,31	22,65	1,03
	1	73,56	22,67	1,05
	2	74,25	22,14	1,02
	2	74,12	22,50	1,03
	3	74,15	23,67	1,05
	3	73,87	23,03	1,05
2,0	1	74,13	22,89	1,06
	1	74,41	22,64	1,08
	2	73,66	20,77	1,00
	2	74,23	20,32	0,99
	3	71,32	21,61	1,08
	3	71,63	21,12	1,02
4,0	1	73,52	20,99	1,13
	1	73,51	21,23	1,14
	2	71,64	20,12	1,16
	2	71,99	20,37	1,12
	3	73,69	20,74	1,15
	3	73,91	20,57	1,06
6,0	1	72,20	20,09	1,50
	1	72,06	20,44	1,46
	2	72,73	20,90	1,79
	2	72,83	20,23	1,76
	3	72,63	20,50	1,42
	3	72,77	19,92	1,46
8,0	1	71,41	21,04	1,98
	1	71,47	20,99	1,97
	2	73,05	20,30	2,05
	2	72,82	20,24	2,10
	3	70,48	19,39	1,99
	3	70,61	19,31	1,93

TABELA 2A – Valores encontrados nas análises de pH, cloreto e perda por cozimento de carne embebida em cinco concentrações de salmoura.¹

Concentração de sal (%)	Propriedade			
	Repetição	pH	Cloreto (%)	P.P.C. ² (%)
0,0	1	5,56	0,64	29,986
	2	5,56	0,70	32,119
	3	5,52	0,70	28,636
2,0	1	5,48	1,05	29,101
	2	5,69	1,11	34,160
	3	5,45	0,99	32,587
4,0	1	5,68	1,29	34,356
	2	5,57	1,17	33,089
	3	5,55	1,17	33,497
6,0	1	5,52	1,34	33,681
	2	5,67	1,40	31,587
	3	5,63	1,52	35,011
8,0	1	5,62	1,75	29,565
	2	5,60	1,70	29,680
	3	5,63	1,87	28,988

¹ valores médios de duas repetições

² P.P.C.: Perda de peso por cozimento

TABELA 3A – Tensão de cisalhamento medida em carne embebida em cinco concentrações de salmoura.

Concentração de sal (%)	Repetição	Tensão de cisalhamento (kgf/cm ²)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0	1	6,5	6,7	6,2	6,2	6,6	7,2	7,4	7,8	7,6	7,0
	2	7,3	6,6	7,2	6,3	6,4	6,8	7,3	7,3	7,1	6,9
	3	6,1	7,4	6,9	6,9	7,3	7,7	6,3	7,2	7,5	7,6
2,0	1	6,7	6,3	6,3	6,6	6,7	6,6	6,4	6,7	6,8	6,4
	2	6,1	6,4	6,2	6,5	6,3	6,7	6,9	6,3	6,4	6,1
	3	6,6	6,5	6,7	6,8	6,3	6,8	6,1	7,0	6,3	6,1
4,0	1	5,9	6,3	6,0	5,8	5,9	6,2	6,1	5,9	6,4	6,2
	2	5,8	5,6	6,2	6,3	6,6	5,8	6,1	5,9	5,8	5,9
	3	6,3	6,1	5,9	5,8	5,8	5,9	6,1	5,9	5,8	6,2
6,0	1	6,5	6,2	6,1	6,3	6,6	5,8	6,4	6,5	6,3	6,0
	2	6,5	6,5	6,9	6,4	6,8	6,7	6,5	6,8	6,1	6,8
	3	6,4	6,3	6,5	6,5	6,4	6,3	6,5	6,3	6,2	5,9
8,0	1	8,3	8,0	7,9	8,2	6,5	7,8	7,2	6,7	7,6	7,5
	2	8,5	7,6	7,2	8,8	6,6	7,5	7,6	6,8	6,7	7,3
	3	8,5	7,5	8,7	7,3	8,0	7,8	8,1	7,3	7,1	7,6

TABELA 4A – Valores médios calculados para umidade, proteína, cinza, pH, cloreto, perda por cozimento e tensão de cisalhamento em carne embebida em cinco concentrações de salmoura.

Propriedade	Concentração de sal (%)				
	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0
Umidade (%)	73,8767	73,2300	73,0433	72,5367	71,6400
Proteína (%)	22,7767	21,5583	20,6700	20,3467	20,2117
Cinza (%)	1,0383	1,0383	1,1267	1,5650	2,0033
PH	5,5467	5,5400	5,6000	4,6067	5,6167
Cloreto (%)	0,6800	1,0500	1,2100	1,4200	1,7733
P.P.C. ¹ (%)	30,2467	31,9500	33,6500	33,4267	29,4133
T. C. ² (kgf/cm ²)	6,9733	6,4867	6,0117	6,3983	7,6033

¹ P.P.C.: perda por cozimento.

² T.C.: tensão máxima de cisalhamento.

TABELA 5A – Valores medidos para depressão do ponto de congelamento e depressão da temperatura final de congelamento em carne embebida em cinco concentrações de salmoura.

Concentração De sal (%)	Repetição	D.P.C. ¹ (°C)					D.T.F.C. ² (°C)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0,0	1	-1,4	-1,6	-1,6	-1,5	-1,8	-3,4	-4,8	-2,8	-4,8	-5,6
	2	-1,7	-1,5	-1,4	-1,5	-1,1	-5,3	-4,9	-3,5	-5,4	-5,2
	3	-1,6	-1,4	-1,7	-1,5	-1,3	-4,8	-6,0	-5,3	-5,4	-3,4
2,0	1	-1,2	-1,4	-1,4	-1,7	-1,1	-5,8	-5,3	-4,4	-5,2	-4,0
	2	-1,6	-1,5	-1,6	-1,6	-1,4	-5,6	-4,4	-4,1	-5,0	-4,1
	3	-1,5	-1,6	-1,4	-1,5	-1,4	-4,4	-4,1	-4,1	-4,4	-4,2
4,0	1	-2,4	-2,6	-2,3	-2,5	-3,1	-5,6	-5,3	-4,9	-5,8	-4,9
	2	-2,5	-2,6	-1,7	-2,6	-2,8	-5,2	-5,4	-5,3	-4,1	-5,2
	3	-2,5	-2,6	-2,4	-2,6	-2,5	-5,1	-5,4	-4,7	-3,9	-5,2
6,0	1	-2,9	-3,2	-3,6	-3,3	-1,5	-5,4	-5,0	-5,6	-4,6	-5,6
	2	-3,1	-2,9	-3,3	-4,7	-2,3	-4,4	-5,5	-5,0	-5,2	-5,6
	3	-3,0	-3,2	-3,1	-2,9	-3,3	-4,4	-4,6	-4,4	-5,4	-5,7
8,0	1	-3,9	-3,4	-3,8	-3,5	-3,9	-5,6	-5,8	-6,1	-6,7	-6,5
	2	-3,3	-3,8	-4,1	-3,9	-4,1	-6,5	-5,9	-5,8	-5,9	-5,8
	3	-3,7	-3,8	-3,9	-4,0	-3,9	-5,8	-5,9	-5,9	-5,8	-5,6

¹ D.P.C.: depressão do ponto de congelamento.

² D.T.F.C.: depressão da temperatura final de congelamento.

TABELA 6A – Valores medidos para tempo nominal de congelamento e taxa de congelamento calculada para carne embebida em cinco concentrações de salmoura.

Concentração de sal (%)	Repetição	T.N.C. ¹ (min)					Taxa de congelamento (cm/h)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0,0	1	73	78	76	68	76	1,64	1,54	1,58	1,76	1,58
	2	74	81	75	76	71	1,62	1,48	1,60	1,58	1,69
	3	75	76	73	72	74	1,60	1,58	1,64	1,67	1,62
2,0	1	67	75	73	69	69	1,79	1,60	1,64	1,74	1,74
	2	76	75	77	69	74	1,58	1,60	1,56	1,74	1,62
	3	70	71	73	72	73	1,71	1,69	1,64	1,67	1,64
4,0	1	85	71	76	80	79	1,41	1,69	1,58	1,50	1,52
	2	82	80	84	81	92	1,46	1,50	1,43	1,48	1,30
	3	83	80	81	82	80	1,45	1,50	1,48	1,46	1,50
6,0	1	79	91	82	94	84	1,52	1,32	1,46	1,28	1,43
	2	86	85	81	79	84	1,40	1,41	1,48	1,52	1,43
	3	84	85	83	86	85	1,43	1,41	1,45	1,40	1,41
8,0	1	85	95	84	86	86	1,41	1,26	1,43	1,40	1,40
	2	82	81	86	87	90	1,46	1,48	1,40	1,38	1,33
	3	86	85	87	83	85	1,40	1,41	1,38	1,45	1,41

¹ T.N.C.: tempo nominal de congelamento.

TABELA 7A – Valores médios calculados para depressão do ponto de congelamento (D.P.C.), depressão da temperatura final de congelamento (D.T.F.C.), tempo nominal de congelamento (T.N.C.) e taxa de congelamento (Tx. C.) de carne embebida em cinco concentrações de salmoura.

Propriedade	Concentração de sal (%)				
	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0
D.P.C. (°C)	-1,5067	-1,4600	-2,5133	-3,0867	-3,8000
D.T.F.C. (°C)	-4,7067	-4,6067	-5,0667	-5,0933	-5,9733
T.N.C. (min)	74,5333	72,2000	81,0667	84,5333	85,8667
Tx. C. (cm/h)	1,6120	1,6640	1,4840	1,4233	1,4000

TABELA 8A – Quantidades de sal absorvidas pela carne durante o processo de embebição por 90 minutos em cinco concentrações de salmoura.

Propriedade	Concentração de sal (%)				
	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0
Sal absorvido (g/100g) ¹	0,000	0,370	0,530	0,740	1,093

¹ gramas de sal/100g de carne.

TABELA 9A – Resultados parciais do cálculo dos parâmetros para a depressão do ponto de congelamento de carne.

Trat.	Umidade (%)	Gordura (%)	Total soluto (%)	M _B (g soluto / 1000g solvente)	m (moles soluto/ kg de solvente)
1	73,8767	12,3	13,8767	187,110	0,449373
2	73,2300	12,3	14,4700	197,597	0,474559
3	73,0433	12,3	14,6567	200,657	0,481908
4	72,5367	12,3	15,1633	209,043	0,502049
5	71,6400	12,3	16,0600	224,176	0,538393