



Universidade Estadual de Londrina

DAYANNE ALINE DE SOUZA FIDELIS

**DIFUSÃO MULTICOMPONENTE DURANTE A MATURAÇÃO
DO QUEIJO TIPO PRATO**

Londrina
2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

DAYANNE ALINE DE SOUZA FIDELIS

**DIFUSÃO MULTICOMPONENTE DURANTE A MATURAÇÃO
DO QUEIJO TIPO PRATO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Londrina, como requisito ao título de Mestre.

Orientador:
Prof. Dr. Rui Sérgio dos Santos
Ferreira da Silva

Co-orientador:
Prof. Dr. Dionísio Borsato

Londrina
2006

DAYANNE ALINE DE SOUZA FIDELIS

DIFUSÃO MULTICOMPONENTE DURANTE A MATURAÇÃO DO QUEIJO TIPO PRATO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rui Sérgio dos Santos

Ferreira da Silva

Prof^ª. Dra. Silvia Deboni Dutcosky

Prof. Dr. Fábio Yamashita

Londrina, 21 de setembro de 2006

DEDICATÓRIA

A Deus; aos meus pais Sonia e Ademir;
minha irmã Sheila e ao meu marido
Reginaldo pelo apoio, carinho e dedicação
de todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. **Rui Sérgio dos Santos Ferreira da Silva** pela orientação, pelo apoio constante e conselhos durante todo o período em que trabalhamos juntos.

Ao professor Dr. **Dionísio Borsato** pela co-orientação, pela oportunidade de trabalharmos juntos e pela amizade formada durante todos esses anos.

Ao **Evandro Bona** pela formulação, dedicação e ajuda durante a aplicação e análise dos resultados do programa computacional utilizado.

A todos os professores do curso de Ciência de Alimentos.

A **Ivanira Moreira, Adriana Araújo e Renato Lajarim Carneiro** pela colaboração durante a realização dos experimentos.

Aos técnicos do *IAPAR*, por permitir o término da interpretação dos resultados em seus laboratórios.

Ao “*Laticínios Campina Alta*” pela aquisição das amostras de queijo Prato.

Ao Departamento de Química pelo consentimento de espaço físico e de equipamentos durante toda a realização dos experimentos.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado concedida durante o curso.

A todos da turma de Mestrado de 2004, pela inestimável amizade e alegrias proporcionadas durante o curso.

FIDELIS, Dayanne Aline de Souza. **Difusão Multicomponente durante a maturação do queijo tipo Prato**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

RESUMO

Um produto muito consumido pelos brasileiros é o queijo, sendo o tipo Prato um dos preferidos. Seu elevado teor de sal (NaCl) tem levado os consumidores a optar por queijos menos salgados, devido à associação do consumo de sal com o aumento da pressão arterial. Uma alternativa para reduzir o teor de sal é a substituição parcial do NaCl pelo KCl, desde que não se altere sua qualidade final. Para assegurar uma proporção adequada dos sais, a utilização dos modelos que simulam a difusão multicomponente, como o Método de Elementos Finitos (MEF), durante a maturação de queijos com reduzido teor de NaCl é importante para o controle do processo e da qualidade do produto. No presente trabalho foi simulada a difusão multicomponente dos sais NaCl e KCl durante a maturação de queijo Prato utilizando uma salmoura estática 20% (m/m) contendo 70% de NaCl, 30% de KCl, sendo, em seguida, os resultados estimados comparados com os dados experimentais. O desvio percentual obtido entre os dados experimentais e os estimados resultou em 5,40% para o NaCl e 11,56% para o KCl, indicando que o modelo proposto tem bases realistas na produção de queijos com reduzido teor de sódio. Para confirmar a aceitabilidade do produto desenvolvido foram realizados testes sensoriais (Triangular e de Aceitação), onde os resultados indicaram que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para ambos os testes em relação ao queijo salgado tradicionalmente com NaCl. Assim, o queijo formulado com a mistura de sais garantiu uma redução de cerca de 30% de NaCl por porção de queijo, ou seja, o queijo formulado pode ser uma boa opção na prevenção e controle dos problemas de hipertensão arterial.

Palavras-chave: queijo Prato, NaCl, KCl, análise sensorial, hipertensão, alimentos especiais.

FIDELIS, Dayanne Aline de Souza. Multicomponent diffusion during Prato's cheese maturation. 2006. 103 p. Dissertation (Master in Food Science) – State University of Londrina, Londrina.

ABSTRACT

A product very consumed by Brazilians is the cheese, being Prato type one of the most preferred. The cheese high salt content (NaCl) had taken the consumers to choose less salty cheeses, due the association between salt consume with high blood pressure. An alternative to reduce salt content is the partial substitution of NaCl by KCl since do not alter your final quality. To secure a salt adequate proportion, the utilization of models that simulate an multicomponent diffusion, like Finite Element Method (FEM), during the reduced salt (NaCl) cheese's maturation is important to control the product's process and quality. In the present work, it was simulated NaCl and KCl's multicomponent diffusion during Prato's cheese maturation, using a 20% (w/w) static brine with 70% NaCl and 30% KCl, next, the theoretical results were compared with experimental data. The percentage desviation between experimental and predicted data results in 5.40% to NaCl and 11.56% to KCl, indicating that the proposed model have realistic basis to produce reduced NaCl cheese. To confirm the product acceptability sensorial tests were accomplished (Triangular and Acceptance), where the results indicated that do not had significant difference ($p>0,05$) in booth tests regarding to traditional salty cheese with NaCl. Therefore, the formulated mixture's cheese guarantee a NaCl reduction around 30% per portion, in other words, the formulated cheese could be a good option to that people with hypertension problems.

Key words: Prato cheese, NaCl, KCl, sensorial analysis, hypertension, specials foods.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1	QUEIJO PRATO – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	13
3.2	PROCESSAMENTO DO QUEIJO PRATO.....	14
3.2.1	LEITE.....	14
3.2.2	CULTURAS LÁTICAS.....	15
3.2.3	COAGULAÇÃO ENZIMÁTICA.....	15
3.2.4	CORTE, ENFORMAGEM E PRENSAGEM DA MASSA.....	17
3.2.5	SALGA.....	17
3.3	MATURAÇÃO.....	19
3.3.1	PROTEÓLISE.....	20
3.3.2	LIPÓLISE.....	21
3.3.3	GLICÓLISE.....	22
3.4	FUNÇÃO DOS ÍONS SÓDIO (Na^+), CLORETO (Cl^-) E POTÁSSIO (K^+).....	22
3.5	HIPERTENSÃO E ELEVADO CONSUMO DE SÓDIO.....	25
3.6	POTÁSSIO COMO SAL ALTERNATIVO.....	28
3.7	PROCESSO DE SALGA: SISTEMA TERNÁRIO.....	32
3.8	DIFUSÃO MULTICOMPONENTE.....	34
3.9	MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS – F.E.M.....	40
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	44
4.1	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	45
4.1.1	QUEIJO.....	45
4.1.2	SALGA.....	46
4.1.3	MATURAÇÃO.....	47
4.1.4	AMOSTRAGEM.....	47
4.2	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	50
4.2.1	UMIDADE.....	50

4.2.2	GORDURA.....	50
4.2.3	TEOR DE SÓDIO E POTÁSSIO.....	51
4.3	MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DA DIFUSÃO MULTICOMPONENTE, DURANTE A SALGA E A MATURAÇÃO, ATRAVÉS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.....	52
4.4	TESTE ESTATÍSTICO.....	57
4.5	ANÁLISE SENSORIAL.....	58
4.5.1	AMOSTRAGEM E EQUIPE DE PROVADORES.....	58
4.5.2	TESTE TRIANGULAR.....	59
4.5.3	TESTE DE ACEITAÇÃO.....	60
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
5.1	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	62
5.2	AVALIAÇÃO SENSORIAL.....	73
5.2.1	TESTE TRIANGULAR.....	73
5.2.2	TESTE DE ACEITAÇÃO.....	74
5.3	QUEIJO PRATO COM REDUÇÃO DE SÓDIO NA DIETA ALIMENTAR.....	77
6	CONCLUSÃO.....	79
7	BIBLIOGRAFIA.....	80
	ANEXOS.....	97
1	FLUXOGRAMA DO ALGORITMO COMPUTACIONAL CONSTRUÍDO PARA A APLICAÇÃO DO MEF.....	98
2	MODELO DE FICHA QUE FOI UTILIZADO PARA O TESTE TRIANGULAR.....	99
3	MODELO DE FICHA QUE FOI UTILIZADA PARA O TESTE DE ACEITAÇÃO.....	100
4	MALHA PROJETADA PARA A REALIZAÇÃO DO PROCEDIMENTO TEÓRICO-PREDITIVO E EXPERIMENTAL	101
5	RESUMO ESTATÍSTICO: ANOVA	102
6	PIRÂMIDE ALIMENTAR	103

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, uma relação direta entre o teor de sódio nos alimentos e o aumento da pressão arterial tem levado consumidores a optar por alimentos com reduzido teor de sódio.

Assim, torna-se necessário à produção de alimentos com reduzido teor de sódio. Entretanto, o cloreto de sódio pode desempenhar um papel fundamental na qualidade final de um produto (ex. queijos); portanto sua substituição total é desaconselhável (LYNCH, 1979). Como alternativa tem-se a substituição parcial do NaCl por um outro sal, desde que não altere as características sensoriais, físico-químicas ou microbiológicas do produto. Um ótimo substituto é o KCl, pois possui propriedades semelhantes ao NaCl e também porque produz um efeito diurético, reduzindo a pressão arterial (HE; MCGREGOR, 2001).

O queijo é um produto muito utilizado pelos brasileiros. Os tipos mais consumidos são Prato, Mussarela, Requeijão, Minas Frescal, Parmesão e Ricota (GOROSTIZA et al., 2004). Entretanto, uma distribuição homogênea do NaCl é fundamental para sua qualidade final.

Com o intuito de produzir um queijo com reduzido teor de sódio, propôs-se a modelagem e a simulação do processo de difusão multicomponente durante a maturação do queijo tipo Prato, em uma salmoura estática contendo NaCl e KCl. A proporção em massa utilizada de cada sal, para o preparo da salmoura, foi obtida segundo um estudo realizado por Rapacci (1989), onde concluiu que uma proporção mássica de 70% de NaCl e 30% de KCl não causaria mudanças significativas ($p < 0,05$) sob os aspectos físico-químicos (umidade, pH, acidez titulável, gordura no extrato seco, proteólise e lipólise), microbiológicos (contagem

total, coliformes totais, bolores e leveduras e *S. lático*) e sensorial (teste de aceitação). Mais tarde, Bona (2004) utilizou a mesma proporção mássica dos sais para simular uma distribuição salina utilizando o método dos elementos finitos, para o processo de salga no queijo Prato.

A difusão mássica de dois solutos (difusão multicomponente) pode ser modelada pela segunda lei de Fick, sendo que devemos associar ao sistema um coeficiente de difusão principal e um coeficiente de difusão cruzado. Uma possível solução desse sistema pode ser obtida por meio do método dos elementos finitos (M.E.F.).

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

- Modelar e simular o processo de transferência como difusão multicomponente de massa durante a maturação, utilizando um sistema ternário (NaCl-KCl-água no queijo), de um queijo brasileiro (Prato), aplicando a segunda lei de Fick generalizada e empregando o método dos elementos finitos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os coeficientes de difusão ou difusividade mássica dos sais NaCl e KCl simultaneamente, estabelecendo as interações entre os fluxos dos solutos, durante a maturação.
- Aplicar o método dos elementos finitos para a solução do modelo matemático proposto do processo de difusão multicomponente utilizado (NaCl-KCl-água no queijo).
- Validar o modelo matemático proposto, comparando-o com valores obtidos experimentalmente em laboratório.
- Comprovar a aceitabilidade do queijo Prato formulado com teor de sódio reduzido.

REVISÃO

BIBLIOGRÁFICA

3.1 QUEIJO PRATO – CONSIDERAÇÕES GERAIS

As verdadeiras origens da fabricação de queijos são, provavelmente, tão antigas quanto à humanidade, sendo possível encontrar evidências em desenhos ou escritas em quase todas as antigas civilizações (SODA , 1986). Os queijos foram primeiramente fabricados com o intuito de preservar o leite como um produto nutritivo, estável e agradável (ZORRILLA; RUBIOLO, 1998).

A fabricação de um queijo é essencialmente um processo de desidratação, onde a gordura e a caseína do leite são concentradas. A desidratação é tradicionalmente alcançada pela coagulação da caseína enzimaticamente, isoeletricamente ou pela combinação de acidez e aquecimento (FOX, 1989).

O queijo Prato é um produto originário do sul de Minas Gerais (FURTADO, 1989). Foi provavelmente introduzido no país na década de 30 do século passado pelos imigrantes dinamarqueses. Acredita-se que tenha sido originado dos queijos dinamarqueses Tybo e Danbo, mas também é similar ao queijo holandês Gouda (FURTADO, 1984). Juntos com os queijos Mussarela, Minas, Requeijão e Parmesão são os mais consumidos do país (CICHOSCKI et al., 2002).

O Regulamento de Padrões de Identidade e Qualidade do Queijo Prato (ANVISA, 2006; LERAYER, et al., 1998) define o queijo Prato como um produto obtido de leite de vaca, de massa semicozida, prensado e maturado por um período mínimo de 25 dias. Sua casca é lisa e fina, com consistência elástica e semidura e sua textura é compacta e macia com pequenas olhaduras distribuídas. Tem cor amarela, um gosto suave e um cheiro agradável, com peso variando entre 0,5 e 5,0 kg, dependendo da variedade.

Pode-se encontrar no mercado quatro variedades de queijo Prato, diferenciados apenas pelo peso e forma: Lanche (retangular); Bola (esférica); Estepe (quadrado) e Cobocó (cilíndrico baixo). A variedade Lanche é a mais apreciada, pesando, em média, de 0,5 a 3,0 kg (CICHOSCKI et al., 2002; OLIVEIRA, 1986).

Tomando-se como base às características tecnológicas bem definidas, o queijo Prato apresenta cerca de 40% de umidade; 51,1% de gordura no extrato seco; 1,4% de ácido láctico; 1,7% de sal e 2,9% de cinzas (OLIVEIRA, 1986).

3.2 PROCESSAMENTO PARA A FABRICAÇÃO DO QUEIJO PRATO

3.2.1 LEITE

O leite a ser utilizado para a fabricação de um queijo Prato deve apresentar uma boa qualidade, mas sua composição química pode variar com a raça, alimentação, época, período de lactação e muitos outros fatores (AUDIST apud CICHOSCKI et al, 2002; OLIVEIRA, 1986).

O leite deve sofrer tratamento térmico de pasteurização HTST (72 °C por 15 segundos) a fim de destruir os microrganismos patogênicos, eliminando parte da flora microbiana. Mas esse tratamento pode insolubilizar o cálcio disponível do leite, que é fundamental no processo de coagulação enzimática, ou seja, para a formação da coalhada (KOSIKOWSKI, 1978; SCOTT, 1986). Na fabricação de um queijo maturado tradicionalmente, somente cerca de 75 a 80% das proteínas do leite são utilizadas, o restante é perdido no soro (SORENSEN; BENFELDT, 2001).

3.2.2. CULTURAS LÁTICAS

A cultura lática ou bactéria “starter” utilizada para a fabricação do queijo Prato é o *Lactococcus lactis* e/ou *Lactococcus cremoris* (FARALDO, 1995; OLIVEIRA, 1986).

A cultura lática tem a função de converter a lactose em ácido lático, que reduz o pH do sistema, auxiliando, portanto, na eliminação do soro e no início da maturação, ou seja, contribui para a formação do sabor (FOX, 1997; FOX et al., 2000). São também, as principais responsáveis pelo controle do estufamento, defeito mais sério na fabricação do queijo Prato. Esse defeito é causado por esporos de *Clostridium*, onde a cultura lática deve inibir, por competição ou por acidificação, esse estufamento (OLIVEIRA, 1986).

3.2.3 COAGULAÇÃO ENZIMÁTICA

Para a etapa de coagulação enzimática, utiliza-se um coalho rico em enzimas proteolíticas, de origem animal, composto basicamente de quimosina, podendo também ser chamado de renina (GORRETA, 1980).

As funções da quimosina no leite são coagular o leite e dissolver e digerir a caseína durante a maturação. A coagulação ocorre numa faixa de 32 °C a 35 °C, pois é uma temperatura ótima para a ação do *L. lactis* e *L. cremoris* (FURTADO, 1991; KOSIWOSKI, 1978; OLIVEIRA, 1986).

Durante esse processo a quimosina coagula as κ -caseínas, liberando um composto solúvel chamado de *glucopeptídeo* (seqüência peptídica de 106 a 169), onde contribui para a formação do soro; e um composto hidrofóbico

(seqüência peptídica de 1 a 105) denominado de *para - κ - caseína* (desestabilizada) que na presença de cálcio solúvel forma um coágulo brilhante, elástico e hidratado, chamado de para-caseinato de cálcio (FOX, 1989; KOSIWOSKI, 1978; SCOTT, 1986; WOLFSCHOON-POMBO, 1983).

No estudo realizado por Sousa, Ardo, McSweeney (2001) outras duas proteinases do leite (localizada nos lisossomos das células), Catepsina D e Elastase, também contribuem para a coagulação do leite. A Catepsina D, também chamada de Procatepsina D, é uma proteinase ácida com especificidade similar a quimosina, mas possui pouco poder coagulante. A Elastase é uma proteinase da serina, que também hidrolisa alguns sítios idênticos ou próximos a quimosina.

Em seguida adiciona-se cloreto de cálcio (concentração de 25g para 100L de leite), que forma uma ponte entre as micelas de *κ - caseína*, insolubilizando (coagulando) as *α_s - caseínas* e *β - caseínas* do leite. O cálcio é adicionado porque reduz o tempo de coagulação, aumentando assim a firmeza da coalhada; reage com os fosfatos do leite (liberando H^+), reduzindo o valor do pH; aumenta o tamanho das micelas (deixando-as instáveis), facilitando assim a coagulação; melhora a expulsão do soro do leite e também aumenta o teor final de cálcio no queijo (FURTADO, 1991).

A hidrólise da *κ -caseína* pode ser afetada pelo pH, ácidos orgânicos, força iônica, temperatura, grau de glicolização por outras proteínas e pelo tratamento térmico do leite (FOX, 1989).

Por último, adiciona-se o corante, geralmente extrato de Urucum (*Bixa orellana*), na concentração de 5 a 10 mL por 100 L de leite (OLIVEIRA, 1986).

3.2.4 CORTE, ENFORMAGEM E PRENSAGEM DA MASSA

Após o término da coagulação enzimática, o queijo Prato é cortado em cubos bem pequenos (0,4 a 0,5 cm de aresta), para obter uma melhor dessora. Em seguida, inicia-se uma agitação lenta e um aquecimento programado até atingir a temperatura de 40°C, a fim de evitar a inativação da cultura lática (BONASSI, 1982; FURTADO; WOLFSCHOON-POMBO, 1978; OLIVEIRA, 1986).

Após o término do aquecimento, ocorre a separação do soro por decantação da massa ou com o auxílio de tanques dessoradores nas indústrias. Depois a massa é cortada em pedaços aproximados do tamanho das fôrmas, sendo estas forradas com panos, para realizar a pré-prensagem, permanecendo de 4 a 16 horas sob uma pressão de 10 a 20 vezes o peso do queijo (EPAMIG, 1981; FURTADO; WOLFSCHOON-POMBO, 1979; OLIVEIRA, 1986).

3.2.5 SALGA

Desde os tempos pré-históricos, a adição de sal, junto com a fermentação e a secagem, são usadas como métodos clássicos de preservação de alimentos (GUINEE; FOX, 1987).

O sal é freqüentemente usado para alterar as condições internas de um alimento e para retardar ou prevenir o crescimento de microrganismos indesejáveis. No queijo, o sal é adicionado na coalhada para ajudar na remoção do soro, suprir o crescimento de microrganismos indesejáveis, retardar o desenvolvimento da acidez e desenvolver o sabor e o aroma natural. O excesso de sal produz secura, textura quebradiça, enquanto que sua deficiência resulta em um

corpo pastoso. O sal, também, tem um efeito desidratante, ajudando a formar assim a casca do queijo (ANONYMOUS, 1980; GUINEE; FOX, 1987; PAYNE; MORISON, 1999; SEMAN; OLSON; MANDIGO, 1980; ZORRILLA; RUBIOLO, 1997).

Tradicionalmente, a salga de todas as variedades de queijo Prato é efetuada através da imersão em salmoura com 18 a 22% de sal, durante um período que varia com o tamanho do queijo (OLIVEIRA, 1986).

Quando o queijo é mergulhado na salmoura verifica-se uma diferença entre a concentração da solução aquosa no interior do queijo e do banho de sal. Há diferença na pressão osmótica de ambos os líquidos e diz-se que a salmoura é hipertônica em relação ao queijo. A superfície do queijo faz o papel de membrana semipermeável que permite a migração de sal para o interior do queijo por meio do fenômeno de difusão, ao mesmo tempo em que libera a saída de parte da fase aquosa do queijo com seus elementos solúveis, principalmente ácido láctico, lactose e nitrogênio não-proteico. Pode-se dizer, então, que ocorre diálise no processo da salga do queijo em salmoura (FURTADO, 1991).

Como a transferência de água é maior, o queijo durante a salga perde peso. Para o caso do queijo Prato essa perda foi determinada ficando ao redor de 2% em uma salmoura com concentração de 20% (FURTADO; SOUZA; MUNCK, 1979).

Segundo Furtado; Souza (1981), 5,0% de sal no queijo seria o limite máximo admissível para que este se apresentasse com bom corpo e textura após a maturação. Segundo os mesmos autores, teores mais elevados prejudicariam a ação do *L. lactis*, agente de importância na proteólise.

O teor de sal no queijo parece ter, também, um efeito na sua capacidade de derretimento, pois queijos contendo de 1,8 a 2,2% de sal possuem maior capacidade de que queijos com 1,1% de sal (OSLON, 1982).

3.3. MATURAÇÃO

De um modo geral, o queijo Prato é embalado a vácuo entre 1 e 2 dias após a salga, a fim de proteger os queijos da invasão de microrganismos e da perda de umidade na superfície do queijo durante a maturação e o armazenamento, além de servir como embalagem final para comercialização. Em seguida, são maturados em câmaras com temperatura controlada, na faixa de 10°C a 15°C, por no mínimo 25 dias (CICHOSCKI et al., 2002; OLIVEIRA, 1986).

Define-se maturação ou cura como sendo o período em que os queijos são deixados em “condições especiais”, visando dar oportunidade à ocorrência de modificações químicas, físicas e microbiológicas, a fim de transformar uma massa insípida e sem forma definida em um produto rico em aroma e sabor, possuindo textura, consistência e coloração próprias (ALVES, 1995).

O gosto, o aroma, a textura e a aparência de diferentes variedades de queijos maturados são desenvolvidos durante a maturação. As primeiras mudanças são a proteólise, lipólise e glicólise.

3.3.1 PROTEÓLISE

Proteólise é considerada o principal e o mais complexo processo ocorrido durante a maturação em queijos duros e semiduros, como é o caso do queijo Prato (SORENSEN; BENFELDT, 2001). Pode ser causada pelas proteinases do leite, pelo coalho adicionado, pelas culturas lácticas e por outros microrganismos já presentes ou que são adicionados durante o processo (ZORRILLA; RUBIOLO, 1997). Pode envolver, além da proteólise propriamente dita, degradação da gordura do leite, fermentação da lactose e produção de compostos voláteis que contribuem para a complexa associação de componentes químicos no produto (BOUTROU et al., 1998; KHALID; EL SODA; MARTH, 1990; KHALID; MARTH, 1990).

Nessa etapa está envolvida a conversão parcial ou total da caseína em grandes peptídeos bem definidos, e suas digestões subseqüentes em peptídeos menores e aminoácidos livres antes da transformação final em vários compostos aromáticos voláteis (VISSER, 1993; WOLFSCHOON-POMBO, 1983).

Durante a maturação, uma multiplicidade de alterações químicas e bioquímicas ocorrem. A proteólise inicial resulta da ação de duas enzimas proteolíticas: *coalho residual*, onde a quimosina hidrolisa as α_s -caseínas e a *plasmina* (proteinase nativa do leite), que se dissocia das micelas de caseína, ficando na coalhada, garantindo assim a maciez do queijo nas primeiras semanas de maturação (LAW, 2001; SORENSEN; BENFELDT, 2001).

O próximo estágio da proteólise envolve a quebra da caseína e os peptídeos das caseínas pelas células “starters” ou culturas lácticas. Suas enzimas são classificadas como proteinases e peptidases. As proteinases, que são predominantemente extracelulares, são responsáveis pela hidrólise da caseína; e as

peptidases, que podem ser intra ou extracelulares, degradam os peptídeos formados pelas proteinases em compostos menores, até formar aminoácidos precursores dos constituintes da formação do sabor (LAW, 2001; SORENSEN; BENFELDT, 2001; VISSER, 1993).

Num estudo realizado por Gorostiza et al. (2004) em queijo Prato, observou-se que os principais aminoácidos encontrados foram taurina/Gaba, ácido glutâmico, leucina, lisina, triptofano e fenilalanina, representando todos um total de 62%.

3.3.2 LIPÓLISE

A lipólise ocorrida durante a maturação é, primariamente, o resultado da hidrólise da gordura do leite catalisada por várias enzimas bacterianas (KAMALY; MARTH, 1989). O grau e a contribuição da lipólise para o sabor do queijo varia consideravelmente entre as variedades (FOX, 1997; KILCAWLEY; WILKINSON; FOX, 1998).

Walstra; Noomen; Geurts (1987) observaram que a atividade lipolítica é reduzida pelo teor de cloreto de sódio e pH do queijo, intensificado com o aumento da temperatura.

Muitas variedades de queijos duros e semiduros curados (como o Prato) contam com sua microbiota lática para o desenvolvimento do sabor. Esses microrganismos são fracamente lipolíticos quando comparados a outros grupos de bactérias, mas já são suficientes para a formação do sabor (KAMALY; MARTH, 1989; KHALID; EL SODA; MARTH, 1990; LEE; LEE, 1990).

3.3.3 GLICÓLISE

A glicólise se refere à degradação de um carboidrato, principalmente à conversão da lactose em ácido láctico, pela ação da bactéria “starter” (FOX, 1997; KILCAWLEY; WILKINSON; FOX, 1998).

Os lactobacilos homofermentativos e os lactococos convertem a lactose em glucose e galactose. Em seguida, fermentam a glucose para obter ácido pirúvico pela via hexose-fosfato. As bactérias “starters” convertem, então, o piruvato que produz ácido láctico. Elas podem produzir, simultaneamente, traços de ácido acético e dióxido de carbono, mas não é considerado muito importante (COLLINS, 1977).

3.4 FUNÇÃO DOS ÍONS SÓDIO (Na^+), CLORETO (Cl^-) E POTÁSSIO (K^+)

O sódio, cloreto e potássio estão intimamente relacionados no organismo. O sódio constitui 2%, o potássio 5% e o cloro 3% do conteúdo total de minerais do organismo. Estes íons estão envolvidos na manutenção pelo menos das quatro funções fisiológicas importantes do organismo: balanço e distribuição de água; equilíbrio osmótico; equilíbrio ácido-base e irritabilidade muscular normal. O sistema “bomba” de Na/K/Ca/ATPase é importante na manutenção do potencial da membrana, no transporte de glucose e alguns aminoácidos (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998).

O sódio é o principal cátion do líquido extracelular. Cerca de 50% do sódio do corpo humano está localizado nos fluidos extracelulares do corpo, 10%

dentro das células e 40% nos ossos. Em todos os mamíferos, incluindo o homem, o íon Na^+ é necessário para manter a pressão e o volume do sangue. Também, é essencial no controle da passagem de entrada e saída de água no corpo da célula, e os volumes relativos de fluidos dentro e fora dessas células; na transmissão dos impulsos nervosos, no metabolismo de proteínas e de carboidratos (OLIVEIRA; SANTOS; WILSON, 1982).

O sódio é absorvido rapidamente pelo intestino e carregado para os rins, onde é filtrado e retorna assim para o sangue, para manter os níveis apropriados. O equilíbrio de sódio é regulado pela aldosterona, um mineralocorticóide secretado pelo córtex da adrenal. Quando os níveis de sódio aumentam, os receptores da sede no hipotálamo estimulam a sensação de sede (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998).

A quantidade total de sódio no corpo de adultos jovens é, em média, de 1334 mg/ kg de peso corpóreo. O sódio é um eletrólito vital. Um déficit relativo desencadeia respostas hormonais compensatórias que podem ser prejudiciais à saúde. A perda de sódio e água compromete o volume extracelular e plasmático, causando tonturas e vertigens na posição de pé, diminui a pressão arterial, pode ocorrer fraqueza e câimbras musculares, e em casos mais graves, o choque (OLIVEIRA; SANTOS; WILSON, 1982). Por outro lado, o NaCl, consumido acima de 3g diariamente, pode ser visto como uma toxina podendo evocar o aumento da pressão sanguínea, excessiva perda de cálcio pelos rins e a produção sistêmica de fatores natriuréticos que podem prejudicar a função de proteção do endotélio vascular, entre outros fatores adversos (McCARTY, 2004).

O íon Cl^- , também, é essencial em manter o equilíbrio ácido-base no sangue e na osmolaridade dos tecidos (passagem de água através das paredes das células para manter as concentrações próprias de várias entidades químicas).

O cloreto encontra-se quase que exclusivamente no líquido extracelular, tendo uma função importante no sangue, junto com o sódio, mantendo o volume plasmático através da pressão osmótica (concentração em torno de 3550 mg/L). É encontrado em altas concentrações no líquido cérebro-espinhal e nos sucos pancreático e gástrico, onde se encontra na forma de HCl, participando ativamente das funções digestivas do estômago, sendo em seguida reabsorvido no intestino com outros nutrientes (ANONYMOUS, 1980; OLIVEIRA; SANTOS; WILSON, 1982). Praticamente, todo o cloreto é absorvido no intestino e excretado pela urina e pelo suor. A principal fonte de cloreto na dieta é pelo sal de mesa. O limite seguro de consumo de cloreto para maiores de 18 anos é de 750 mg/dia (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998).

Os íons Na^+ e Cl^- normalmente não são “armazenados” no corpo, mesmo quando ocorre uma alta ingestão dos mesmos. Quantidades consumidas em excesso são excretadas e então os níveis de sódio e de cloreto são mantidos, apesar da alta ingestão. A primeira rota de excreção é a urina, com quantidades substanciais perdas também no suor e nas fezes (McCARTY, 2004).

Grande parte do potássio do corpo está localizado no compartimento intracelular, mas uma pequena quantidade também é encontrada no compartimento extracelular. Esta diferença de concentração é extremamente importante para a função das células, principalmente as nervosas e musculares, tendo também a função de manter a osmolaridade intracelular e, em consequência, regular a distribuição de líquidos entre os compartimentos intra e extracelular. O potássio é

prontamente absorvido no intestino delgado. De 80% a 90% do potássio ingerido é excretado na urina, sendo o restante perdido nas fezes (OLIVEIRA ; SANTOS; WILSON, 1982).

O potássio é encontrado em quase todos os alimentos de origem vegetal e animal (banana, laranja, uva, chocolate, leite e carne). Uma deficiência de potássio pelo consumo inadequado não é provável em indivíduos saudáveis. A exigência mínima para os adultos é de 1,6 a 2,0 g/dia, mas níveis mais altos são recomendados por causa do possível efeito protetor de potássio contra a hipertensão, sendo então recomendado acima de 4,7 g/dia (AMERICAN HEART ASSOCIATION, 2002; AUGUSTO; ALVES; MANNARINO, 1995).

3.5 HIPERTENSÃO E ELEVADO CONSUMO DE SÓDIO

A principal fonte de sódio na dieta é o cloreto de sódio ou sal de cozinha. O elevado consumo deste sal se inicia na mesa da família, sendo perpetuado pelo hábito contínuo e pelo aumento de lanches rápidos com elevadas concentrações de sal (MENEELY; BATTARBEE, 1976). Os queijos também são listados como fontes importantes de sódio na dieta (KOSIKOWSKI, 1983).

A taxa de consumo habitual de sal está entre 4g a 12g (70 a 120 mmol) por dia. Em estudos populacionais, tem sido estabelecido que um consumo maior do que 6g/dia/pessoa está associado a um aumento da pressão sanguínea com a idade. Portanto, tem-se recomendado que a quantidade total de sal na dieta seja de 2,3g/dia/pessoa, para a população em geral. Contudo, para indivíduos suscetíveis ao sal e para hipertensos, a quantidade de sal a ingerir deve estar entre

1-3g/dia (AMERICAN HEART ASSOCIATION, 2002; RUUSUNEM; PUOLANNE, 2005; SIMON, 2003). A Sociedade Brasileira de Hipertensão (2002) recomenda uma ingestão de até 6g/dia de sal (2 colheres de chá rasa de sal (4g) e 2g de sal presente nos alimentos naturais).

Habitualmente, uma dieta exagerada de cloreto de sódio estaria ligada ao desenvolvimento da hipertrofia ventricular, aumento da pressão sanguínea com a idade e de doenças renais, podendo aumentar o risco de acidente vascular cerebral e morte prematura por doenças cardiovasculares (AUGUSTO; ALVES; MANNARINO, 1995; MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998; RUUSUNEM e PUOLANNE, 2005; SIMON, 2003).

Hipertensão é definida como uma pressão sanguínea arterial persistentemente alta, definida como pressão sanguínea sistólica (SBP) ≥ 140 mmHg e/ou pressão sanguínea diastólica (DBP) ≥ 90 mmHg. Uma pressão sanguínea ótima está definida como SBP < 120 mmHg e DBP < 80 mmHg (FRANKLIN, 2004; MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998; SVETKEY et al., 2003). Atualmente a hipertensão é classificada em estágios, baseados nos índices de mortalidade por doença cardiovascular. Existem quatro estágios de hipertensão, onde o estágio 1 (140 a 159/90 a 99 mmHg) é o mais prevalente em adultos (MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998).

De acordo com Rudnichi et al. (2004) e Franklin (2004), em sujeitos com menos de 50 anos, a pressão diastólica é o mais forte fator de risco cardiovascular. Como a prevalência da hipertensão aumenta com a idade, mais da metade da população adulta acima dos 60 anos tem hipertensão.

A pressão sanguínea é uma função do débito cardíaco multiplicado pela resistência periférica (resistência nos vasos sanguíneos para o fluxo de

sangue). Quando o diâmetro do vaso sanguíneo é reduzido, a resistência ao sangue e a pressão sanguínea aumentam, podendo o caso contrário também ocorrer.

Os reguladores da pressão sanguínea são o sistema nervoso simpático (para o controle em curto prazo) e os rins (controle em longo prazo). Em resposta a uma queda na pressão sanguínea, o sistema simpático secreta norepinefrina (vasoconstritor), que age em pequenas artérias e arteríolas, para aumentar a resistência periférica e elevar a pressão. O rim controla o volume de fluido extracelular e secreta renina, que ativa o sistema renina-angiotensina. Quando esses mecanismos regulatórios hesitam, desenvolve-se a hipertensão. Na maioria dos casos de hipertensão, a resistência periférica aumenta, forçando assim o ventrículo esquerdo do coração a aumentar seu esforço no bombeamento do sangue pelo sistema, podendo desenvolver insuficiência cardíaca congestiva (JAGER et al., 2001; MAHAN; ESCOTT-STUMP, 1998; MENEELY; BATTARBEE 1976).

O Na^+ , K^+ e o Ca^{2+} nutricionais são considerados reguladores da pressão sanguínea. Modificações no estilo de vida como o aumento de exercícios físicos, redução de peso e restrição ao sódio são amplamente recomendados no tratamento da hipertensão arterial (FRANZONI et al., 2005; KAWANO et al., 1998; LEIBA et al., 2005; SVETKEY et al., 2003).

A possibilidade de o potássio fornecer um significado efetivo em reduzir a pressão sanguínea é o motivo para a sua inclusão em estudos a se determinar uma aproximação ótima não-farmacológica na prevenção e no tratamento da hipertensão arterial (WHELTON et al., 1995).

3.6 POTÁSSIO COMO SAL ALTERNATIVO

As propriedades físicas do cloreto de potássio fazem dele um ótimo substituto, pois possui muitas propriedades semelhantes ao cloreto de sódio (LYNCH, 1979).

Uma dieta rica em potássio pode exercer uma ação preventiva contra a hipertensão ou mesmo ser eficaz no tratamento da hipertensão já instalada. A relação Na/K é inversamente proporcional, portanto uma elevada ingestão de potássio aumenta a excreção renal de sódio, resultando em um efeito anti-hipertensivo (AUGUSTO; ALVES; MANNARINO, 1995).

Os benefícios do potássio incluem redução da pressão sanguínea em pessoas hipertensas; redução do risco de derrame cerebral; redução do risco de arritmias ventriculares em pacientes com doenças do coração, falência do coração e hipertrofia ventricular do lado esquerdo; prevenção do desenvolvimento de riscos renais vasculares, glomerulares e tubulares; redução da excreção de cálcio pela urina, a formação de pedras no rim e redução da desmineralização dos ossos (osteoporose) (DOORENBOS; VERMEIJ, 2003; HE; MACGREGOR, 2001).

Os efeitos benéficos do potássio e os efeitos nocivos do sódio têm sido recentemente revisitados. O consumo de frutas e vegetais (mamão, laranja, banana, cenoura, beterraba, etc.) é a fonte preferida de potássio, mas o uso de um sal substituto, também, aumenta a ingestão de potássio ao mesmo tempo em que reduz a ingestão de sódio (AUGUSTO; ALVES; MANNARINO, 1995; DOORENBOS; VERMEIJ, 2003; HE, MACGREGOR, 2001).

A idéia de que o potássio poderia reduzir a pressão sanguínea foi primeiramente sugerida por Addison (1928) em um estudo pioneiro visando os

efeitos natriuréticos (substância que aumenta a excreção urinária de sódio) do KCl (HE; MACGREGOR, 1999).

Dois temas controvertidos, porém, permanecem sobre a relação entre a ingestão de potássio e a pressão sanguínea. A primeira é se a ingestão de sódio e potássio, que têm efeitos opostos na pressão, tem efeitos aditivos quando a ingestão de potássio é aumentada e a de sódio reduzida. Um estudo da INTERSALT (Intersalt Cooperative Research Group - Cooperativa de Grupo de Pesquisa Intersalt) mostrou que a pressão sanguínea está diretamente associada à ingestão de sódio e inversa e, independentemente, relacionada com a ingestão de potássio. O outro tema de controvérsia é se o potássio na forma de cloreto tem um maior ou menor efeito na pressão do que os outros sais de potássio, pois em frutas e vegetais está mais presente na forma de fosfatos, sulfatos, citratos e muitos ânions orgânicos do que como cloreto. Estudos realizados com dietas comparativas utilizando frutas e a outra com KCl, indicaram que os resultados encontrados foram similares (HE; MACGREGOR, 2001).

O balanço de potássio é normalmente controlado por mecanismos fisiológicos precisos que mantêm a excreção de potássio, principalmente, pelos rins e pelo trato gastrointestinal. Grandes quantidades de potássio são rapidamente excretadas quando ocorre um aumento mínimo da concentração no plasma. Condições como doenças renais severas podem prejudicar a habilidade dos rins de excretar potássio. Contudo, há outros importantes determinantes de potássio no plasma, particularmente, ATPase sódio-potássio, adrenalina e aldosterona (YOUNG; McCABE apud HE; MACGREGOR, 2001). A hiperpotassemia pode ocorrer quando esses mecanismos regulatórios são interrompidos ou prejudicados, particularmente, em pacientes com função renal comprometida.

Segundo Doorenbos; Vermeij (2003) e Rosenstock (apud He; McGregor, 2001) sais substitutos que contém potássio podem causar hiperpotassemia (concentração de íons potássio no sangue circulante maior do que o normal) em pacientes com problemas renais e em pacientes diabéticos.

Como os queijos apresentam grandes quantidades de sal, tem-se estudado o uso de misturas de KCl e NaCl, a fim de reduzir o consumo de sódio.

Rappaci (1989) estudou os efeitos de várias combinações de NaCl:KCl na fabricação de queijo Prato. Utilizou as seguintes proporções: 100% de NaCl – controle; 70% de NaCl e 30% de KCl; 30% de NaCl e 70% de KCl e 100% de KCl, numa salmoura de 20% (m/v) em mistura. Constatou-se que os queijos salgados com 100% de KCl e com 30% de NaCl e 70% de KCl apresentaram um sabor desagradável, devido ao KCl. Os queijos salgados com 100% de NaCl e com 70% de NaCl e 30% de KCl apresentaram características sensoriais semelhantes ($p < 0,05$).

Reddy; Marth (1993a) estudaram a proteólise no queijo Cheddar, utilizando dois testes (teste 1 com *Lactococcus lactis subsp. lactis* e *L. lactis subsp. cremoris* e teste 2 com *L. lactis subsp. lactis*) e oito amostras, com salgas utilizando somente NaCl ou somente KCl, ou misturas de NaCl/KCl (2:1; 1:1; 1:2 e 3:4 m/m). A avaliação sensorial realizada, aplicando teste de aceitação de 7 pontos, indicou que as amostras do teste 1 ficaram mais amargas em relação às aquelas do teste 2. No teste 2 as amostras salgadas com as misturas de NaCl/KCl, não ficaram amargas, em relação ao queijo controle – 100% NaCl. O *L. cremoris*, nas concentrações utilizadas no trabalho, pode resultar num sabor amargo. Verificou-se que no teste 1 houve um aumento no pH, na acidez titulável e uma maior contagem de bactérias ácido lácticas, podendo ser resultado das culturas lácticas utilizadas; concluindo, por

meio de cromatografia de filtração em gel, que o KCl não resultou na formação dos peptídeos amargos.

Reddy; Marth (1993b) analisaram a composição do queijo Cheddar produzido só com NaCl, com KCl ou com suas respectivas misturas (NaCl/KCl 2:1; 1:1; 1:2 e 3:4 m/m) para alcançar uma concentração salina final de sal entre 1,50 e 1,75% de sal. Aplicou o teste sensorial em cerca de 200 pessoas, onde concluiu que os queijos salgados com uma grande quantidade de KCl foram menos preferidos do que aqueles salgados com menor quantidade de KCl, assim todos os queijos salgados com a mistura foram sensorialmente aceitos ($p < 0,05$).

Katsiari et al (1997) estudaram a fabricação do queijo grego Feta com redução de sódio, pelo emprego da mistura (NaCl/KCl 3:1 ou 1:1 m/m). Encontraram que o queijo com mais de 50% de KCl foi possível, pois não interferiu na sua qualidade e, também, as misturas não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) na composição e nas propriedades físico-químicas, sensorial e de textura dos queijos, quando comparados com o queijo controle (NaCl).

Katsiari et al (1998) estudaram, ainda, uma mistura de NaCl/KCl (3:1 e 1:1 m/m) em queijo Kefalograviera (queijo grego duro), não encontrando diferenças significativas ($p < 0,05$) em ambas as misturas, quanto às propriedades físico-químicas, sensoriais e de textura, quando comparadas com o queijo controle (apenas NaCl).

Assim, muitos consumidores, principalmente aqueles que necessitam utilizar uma dieta mais moderada de sódio, podem se beneficiar do uso de misturas de sódio e de potássio em alimentos, como nos queijos.

3.7 PROCESSO DE SALGA: SISTEMA TERNÁRIO

A salga é um processo importante na fabricação de queijos. Para o queijo Prato a salga é efetuada através de imersão em salmoura, durante um determinado período que varia com o tamanho do queijo. A interface é o ponto de encontro desses dois espaços, e o ponto de referência chave para a análise da transferência de massa. A transferência de massa na interface é afetada pela diferença de concentração, pelo equilíbrio do potencial químico, pela absorção molecular e pela interação do sólido (matriz protéica) com o líquido (salmoura) (SHI; LE MAGUER, 2003).

Quando um material é mergulhado em uma solução de concentração diferente, a diferença de potencial químico entre os componentes na solução e no material leva a três fluxos de transferência de massa (MAYOR et al., 2005):

- A água é transferida do material para a solução;
- Os solutos são levados da solução para dentro do material que está sendo desidratado;
- Os sólidos solúveis são levados do material para um nível osmótico médio, ou seja, de uma camada logo após a superfície para o interior do material (negligenciável, pois não altera as características nutricionais e sensoriais do produto).

Este fenômeno ocorre nos queijos, recebendo a denominação de desidratação osmótica, que consiste em um processo de remoção de água, onde um bio-sólido (ex. frutas, vegetais, queijos, etc) é imerso em uma solução concentrada

contendo um ou mais solutos. Assim, o soluto difunde através de uma membrana semipermeável criando uma diferença de potencial químico nesta membrana, retirando a água do seu interior. Durante esse mecanismo o soluto da solução concentrada flui para o material alimentar e a água é levada para a solução (EMAM-DJOMEH; DJELVEH; GROS, 2001; LI, 2005; RASTOGI et al., 2002; RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004; SPIAZZI; MASCHERONI, 1997; YAO; MAGUER, 1996). Durante a desidratação osmótica, o fluxo de água que sai do sistema é muito mais rápido do que a entrada dos sólidos, causando as forças direcionadas que são mantidas devido a essa diferença nos fluxos, causando, portanto, um encolhimento do tecido (LI, 2005). A principal vantagem da desidratação osmótica é que as temperaturas empregadas no processo não afetam de modo importante às características das membranas semipermeáveis (KHIN; ZHOU; PERERA, 2005).

O agente osmótico mais empregado em queijos é o sal (NaCl), que produz um forte decréscimo da atividade de água e aumenta a pressão osmótica, alcançando um alto conteúdo de sal e uma redução de umidade (CHENLO et al., 2005; MAYOR et al., 2005; MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002). Mas, a velocidade de difusão depende de fatores como: a temperatura e a concentração da solução osmótica, o tamanho e a geometria do material, a relação mássica solução/material, o nível de agitação da solução, o tempo de imersão e os possíveis pré-tratamentos (KAYMAC-ERTEKIN; SULTANOGLU, 2000; RASTOGI et al., 2002; RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004).

A transferência de massa em queijos durante a salga vem sendo alvo de interesse, pois não é somente o conteúdo de água e sal modificados, mas também de ácido láctico. Modelos relatados para transferência de solutos em queijos têm considerado o transporte dos sais (NaCl ou NaCl-KCl) e água, sem considerar a

concentração de componentes em menor quantidade (1% m/m), como o ácido láctico (GERLA; RUBIOLO, 2003).

Assim, esse sistema é classificado como ternário, pois existem três componentes: NaCl, KCl e água (NAUMAN; SAVOCA, 2001). Uma modelagem matemática é necessária para a simulação do processo de difusão nesse sistema multicomponente, pois permitiria um controle adequado da composição do material desidratado resultante e com redução do processamento (MAYOR et al., 2005; SIMAL et al., 2001).

3.8 DIFUSÃO MULTICOMPONENTE

Difusão é o processo no qual a matéria é transportada de uma parte de um sistema para outras diferentes como o resultado de movimentos moleculares aleatórios (CRANK, 1975). A difusão molecular ou Fickiana em uma fase fluída é amplamente aceita como sendo um mecanismo de transferência de massa dentro de sólidos alimentares, onde a força de direção para o processo de difusão é o gradiente de concentração, ou de atividade química (AGUILERA, 2005; LI, 2005). A relação entre o fluxo de matéria e o gradiente de concentração é denominada “primeira lei de Fick”, mostrando que a concentração varia notavelmente com a posição do material. A segunda lei de Fick, também chamada de “equação da difusão”, indica que a taxa onde esse processo ocorre em um ponto do espaço para sistemas binários diluídos (soluto e uma grande quantidade de solvente) é proporcional à variação do gradiente de concentração (AGUILERA, 2005; ATKINS, 1997). A forma da segunda lei de Fick generalizada foi desenvolvida por Onsager,

sendo uma equação constitutiva do fluxo de massa de soluto usado para modelos de processos de difusão (GERLA; RUBIOLO, 2003).

A fim de controlar a fabricação desses tipos de produtos, torna-se necessário o conhecimento de um indicador de maior ou menor facilitação do processo, o coeficiente de difusão ou difusividade mássica (D), que pode ser constante ou variável. Em regiões homogêneas, o transporte do soluto ocorre, geralmente, no sentido da maior para a menor concentração de soluto, com velocidade proporcional ao gradiente de concentração. Os engenheiros de alimentos têm feito uso extensivo dessa aproximação para longos períodos de difusão, utilizando uma geometria regular para calcular um coeficiente de difusão aparente ou efetivo (AGUILERA, 2005; TURHAN; KALENTUNÇ, 1992).

Vários autores estudaram a difusão do cloreto de sódio em queijos, como Bressan et al. (1981) em queijo Cottage; Luna; Bressan (1986; 1987) em queijo macio Cuartirolo Argentino; Luna; Chaves (1992) em queijo semiduro Gouda; Morris; Guinee, Fox (1985) em queijos Cheddar; Payne; Morrison (1999) em queijos Gouda; Schroeder et al. (1988) em queijos Cheddar; Zorrilla; Rubiolo (1998) em queijos Fynbo.

A segunda lei de Fick depende de condições iniciais (distribuição do soluto no sólido antes da difusão) e das condições de contorno (variação da concentração no limite da região de controle, ou seja, na superfície do material estudado). Frequentemente, o D é considerado constante e uniforme (CRANK, 1975). Se a resistência externa na transferência de massa for importante, o número de Biot (adimensional) pode ser envolvido (CHAVES; LUNA; GARROTE, 1997; ROVEDO; SUAREZ; VIOLLAZ, 1998).

O valor de D para o NaCl na água a 25 °C é 1,39 cm²/dia e para o KCl 1,72 cm²/dia (SCHWARTZBERG; CHAO, 1982). A diferença nos valores de D pode ser atribuída, em parte, pelo poder de polarização dos íons. Íons como Na⁺ interagem fortemente com as moléculas de água, causando uma menor mobilidade da mesma na solução. Os íons K⁺ são maiores, tendo até certo ponto, regiões elétricas mais fracas, com redes estruturais quebradiças, permitindo uma maior fluidez da solução (CHENLO et al., 2005; FENNEMA, 1996).

Com a incorporação do sal no queijo, obtém-se, também, o coeficiente de difusão aparente ou efetivo (D*) – derivado da segunda lei de Fick, que é um valor aparente que compreende todos os fatores envolvidos no processo (SAGUY; MARABI; WALLACH, 2005) – é menor do que os coeficientes de difusão dos sais na água pura, pois o queijo consistiria de uma estrutura com umidade e glóbulos esféricos de proteínas ligadas à água (GEURTS ; WALSTRA; MULDER, 1974). Essa diferença é devido a um número de fatores associados com o queijo, que retarda e/ou impede o movimento do sal. Os fatores incluídos são: (FOX et al., 2000)

- O estreitamento dos poros da matriz de para-caseína retarda o movimento da passagem de íons (Na⁺, K⁺ e Cl⁻) através dela;
- Os glóbulos de gordura e as partículas de caseína no queijo obstruem a passagem dos íons do sal. Esse trajeto tomado pelos íons aumenta a distância efetiva na qual precisam percorrer;
- Uma maior viscosidade aparente do queijo quando comparado com a água pura.

A difusão multicomponente nos alimentos pode ocorrer não somente devido às características do alimento, mas também porque muitos solutos podem ser adicionados intencionalmente ao mesmo. Além disso, algumas vezes é inconveniente ou praticamente impossível medir experimentalmente a concentração de cada espécie individualmente (ZORRILLA; RUBIOLO, 1994a).

Quando vários solutos se difundem, assume-se a lei generalizada de Fick, pois além do coeficiente de difusão principal de cada soluto, são necessários também os coeficientes de difusão cruzados, que unem a influência de um soluto no fluxo do outro soluto. Geralmente, para íons totalmente dissociáveis, como no caso do Na^+ e K^+ , os coeficientes cruzados são de valor inferior aos principais (GERLA; RUBIOLO, 2003; MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002).

Morris; Guinee; Fox (1985) estudaram a difusão do sal (NaCl) na superfície do queijo Cheddar (semiduro e gordo), utilizando três concentrações diferentes de sal: uma sem sal, e as demais com 2,8% e 5,6% de sal. Encontraram um $D \cong 0,12 \text{ cm}^2/\text{dia}$, concluindo que o sal solubiliza as proteínas, alterando sua difusividade e que a geometria também altera a difusão do sal no queijo.

Luna; Bressan (1987) estudaram a transferência de massa (NaCl), modelada matematicamente, como um processo efetivo de difusão, em queijos Cheddar (semiduro e gordo), durante 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias de maturação. Relataram que os valores experimentais e calculados, comparados pela porcentagem de desvio (Tabela 9), validam o modelo proposto, podendo o mesmo ser aplicados para qualquer queijo tipo macio e que o valor do coeficiente efetivo médio de difusão ($D^* = 0,30 \text{ cm}^2/\text{dia}$) indicou uma concentração uniforme durante o período de maturação.

Tabela 9 – Porcentagens de desvios encontrados durante o período de Maturação para o NaCl.

	Período de maturação (dias)						Média
	5	10	15	20	25	30	
%desvio	3,13	2,99	2,73	2,19	3,43	1,71	5,28

Fonte: Luna e Bressan (1987)

Zorrilla; Rubiolo (1994a) analisaram as mudanças do NaCl e do KCl durante a maturação de amostras cilíndricas de queijo Fynbo (semiduro e gordo com consistência macia), utilizando a lei generalizada de Fick, em um sistema ternário (NaCl-KCl-queijo). Utilizou o processo de salmoura agitada, tomando cuidado para evitar a formação de bolhas durante a agitação, para desconsiderar a resistência do filme líquido. Os coeficientes de difusão principais e cruzados foram determinados de acordo com Zorrilla; Rubiolo (1991), utilizando um método de difusão unidimensional. A tabela 10, a seguir, mostra os valores obtidos para os coeficientes efetivos de difusão (D) e para a porcentagem de desvio (%desvio) calculada. Concluíram que a pequena porcentagem de desvio encontrada indica que o modelo de difusão foi apropriado, podendo ser aplicado para estudar as interações entre os solutos que se difundem em um biossólido.

Tabela 10 – Porcentagens de desvios (%desvio) e coeficientes efetivos de difusão estimados.

Maturação (dias)	NaCl	KCl
1	14,8	7,4
5	12,6	5,6
10	5,7	3,3
20	5,9	7,5
30	4,1	4,8
% desvio médio	8,62	5,72

D principais (cm ² /dia)	D cruzados (cm ² /dia)
D* ₁₁ = 0,357 ± 0,33	D* ₁₂ = 0,012 ± 0,03
D* ₂₂ = 0,337 ± 0,20	D* ₂₁ = 0,008 ± 0,03

* Índice 1 – NaCl e 2 – KCl.

Fonte: Zorrilla e Rubiolo (1994a)

De acordo com Borsato (1996), após cerca de 40 dias de maturação, a concentração do soluto (NaCl), na superfície do queijo Prato, permanece constante.

Vários estudos de difusão em alimentos, utilizando as leis de Fick para sistemas binários e ternários vem sendo estudado como Bona (2004) na salga de queijo Prato; Djelveh; Gross; Eman-Djomed (2001) na desidratação osmótica de pedaços de carne; Gerla e Rubiolo (2003) durante a salga de queijo Pategras; Kaymac-Ertekin (2000) na desidratação osmótica de maçãs em fatias; Khin; Zhou; Perera (2005) na desidratação osmótica de batatas em cubos; Li (2005) na

desidratação osmótica de tecidos biológicos de plantas (modelo teórico); Mayor et al (2005) na desidratação osmótica de abóboras; Medina-Vivanco; Sobral; Hubinger (2002) na desidratação osmótica de filés de Tilápia; Rastogi; Raghavarao; Niranjan (1997) na desidratação osmótica de bananas; Telis; Murari; Yamashita (2004) na desidratação osmótica de tomates; Zorrilla; Rubiolo (1994a) na maturação de queijo tipo Finbo e Zorrilla; Rubiolo (1994b) durante a salga de queijo tipo Finbo.

3.9 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS – M.E.F.

Vários são os problemas que, na procura de uma solução, recaem em uma equação diferencial ordinária ou parcial. Assim, é necessário o uso de métodos numéricos que, por aproximações, permitem uma simulação mais precisa do sistema real (BICKFORD, 1990).

A modelagem da transferência de massa, pelo mecanismo da difusão de um processo é importante para controlar adequadamente a composição de materiais desidratados resultantes e reduzir o trabalho experimental. Algumas aproximações diferentes vêm sendo utilizadas para tais propósitos, como as aproximações empíricas que utilizam equações matemáticas adequadas para os dados experimentais; aproximações semi-empíricas que levam em conta algum fenômeno observado durante o processo, mas ainda mantém um forte componente empírico. Outra aproximação mais fundamental está baseada na análise do fenômeno de transporte de massa de um processo, de acordo com a segunda lei da difusão de Fick. Outra, ainda, considera a termodinâmica de processos irreversíveis, como a aproximação de Maxwell-Stefan. Finalmente, aproximações mais complexas

são a difusão através de membranas com diferentes permeabilidades; transporte pelos espaços intercelulares (por difusão e/ou movimento convectivo) e por fluídos ocasionais entre células (MAYOR et al., 2005; SIMAL et al., 2001).

A simulação computacional tem provado ser uma ferramenta valiosa nas áreas de nutrição, análise sensorial e segurança dos alimentos, assim como para otimizar processos alimentares e condições de armazenamento, minimizando os erros dos procedimentos experimentais. A simulação computacional pode ajudar não somente o desenvolvimento de produtos, mas também pode ajudar a otimizar a qualidade de alimentos e a segurança através de uma cadeia de distribuição (MARTINS; SILVA, 2004).

Um conjunto de técnicas numéricas atualmente muito usada na ciência, tecnologia e engenharia de alimentos, que permite a simulação de sistemas em condições realistas é o método de elementos finitos (WANG; SUN, 2003).

O método de elementos finitos (MEF) é capaz de simular fenômenos, como a transferência de calor e/ou de massa, radiação, dinâmica de fluídos, elasticidade, assim como processos químicos e biológicos responsáveis pela perda de qualidade dos alimentos (MARTINS, 2005).

Coucorant derivou em 1943 uma das primeiras aproximações da teoria dos elementos finitos, apesar de alguns datarem de 1851 por Schellback. Engenheiros e matemáticos desenvolveram, independentemente, o MEF no final dos anos 60 do século XX. Durante a década de 70, tornou-se uma ferramenta importante em nível de pesquisa para a engenharia. O método foi estabelecido, primeiramente, para a computação em mecanismos estruturais e expandiu, a partir daí, para outras áreas de pesquisa (BREBBIA; FERRANTE, 1975; MARTINS, 2005).

O MEF é um conjunto de técnicas numéricas para a solução de equações diferenciais em problemas de contorno e/ou valor inicial. Assim, o contínuo (solução domínio) é subdividido por linhas ou superfícies imaginárias em um número finito de elementos com geometria adequada. Para cada elemento é associado um conjunto finito de pontos, denominado nós. Nesses pontos são relacionadas funções de interpolação que descreverão o comportamento das variáveis dependentes, e às vezes até as independentes, presentes na equação diferencial. Empregando um princípio variacional ou método de resíduos ponderados (solução por técnica de Galerkin), a equação diferencial parcial é integrada e se transforma em um sistema de equações algébricas ou equações diferenciais ordinárias (quando o problema depende do tempo). Os valores nodais da variável estudada são, então, estimados através da solução desse sistema (AKIN, 1982; CHUNG, 1978; PINTO; LAGE, 2001).

As principais vantagens do MEF são listadas a seguir (PURI; ANANTHESWARAN, 1993):

- A variação espacial das propriedades materiais pode ser tratada com relativa facilidade;
- Regiões irregulares podem ser modeladas com grande precisão;
- O método é o mais indicado para problemas não lineares;
- As dimensões dos elementos podem ser facilmente alteradas;
- A interpolação espacial é muito realista;
- Os problemas com as mais diversas condições de contorno podem ser facilmente trabalhados.

Mas esse sistema é limitado quando modela interações químicas e bioquímicas de alta complexidade, que caracterizam perdas de qualidade de alimentos (MARTINS, 2005).

Diversos autores vêm estudando o método de elementos finitos em alimentos. Lomauro; Bakshi (1985) utilizaram a técnica para prever o conteúdo de umidade de vários alimentos e com diversas geometrias. Lin; Anantheswaran, Puri (1995) utilizaram um software comercial (TWODEPED) para analisar as microondas de calor em alimentos sólidos com geometrias retangulares e cilíndricas. Silva; Borsato; Silva (1998) analisaram a transferência de sal (cloreto de sódio) através do queijo (matriz sólida tridimensional) com o esquema de Crank-Nicolson. Payne; Morison (1999) investigaram a perda de sal e de umidade do queijo tipo Gouda durante a salga, através da equação de Maxwell-Stefan. Kamath; Puri (1999) testaram o método utilizando uma equação modificada de Cam-Clay para farinhas de trigo. Medvedev; Shapiro (2003) aplicaram as relações recíprocas de Onsager para verificar os dados experimentais nos coeficientes de difusão e modelos termodinâmicos em sistemas ternários. Emmanuel; Cortis; Berkowitz (2004) examinaram a difusão em sistemas ternários não-ideais segundo dois métodos: colocação espectral e por elementos finitos. Bona et al. (2005) simularam a difusão multicomponente durante a salga mista ($\text{NaCl} + \text{KCl}$) de queijo Prato, baseando-se na segunda lei de Fick generalizada para os dois solutos em salmoura estática.

Porém, tanto quanto se sabe, não há trabalhos conhecidos utilizando o MEF para a simulação da difusão multicomponentes em queijos, durante a maturação, através da equação generalizada de Fick.

MATERIAL

E

MÉTODOS

4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1.1 QUEIJO

Duas amostras de queijo Prato, com dimensões de 24 cm x 10 cm x 12 cm e pesando cerca de 3 kg cada um, foram adquiridos do “Laticínios Campina Alta, Manoel Ribas – PR”. As amostras, após sua fabricação (e antes da salga), foram transportadas, sob refrigeração, na própria forma onde foi prensada. Cada queijo foi armazenado refrigerado sob temperatura de $10 \pm 1^\circ \text{C}$, durante aproximadamente 12 horas, antes do início do procedimento experimental.

Em seguida, foi desenformado e cortado em 12 pedaços. Retirou-se 0,5 cm de cada borda, ficando com dimensões 8 cm x 10,5 cm x 4 cm, para evitar possíveis interferências de íons com a fôrma onde foi transportado, sendo depois submetidos a salga (Figura 1).

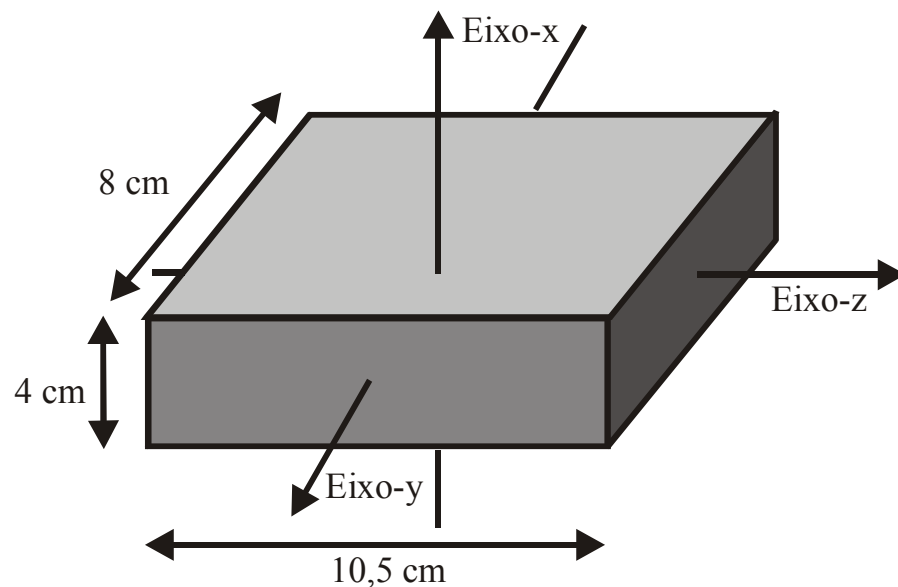


Figura 1 – Dimensões da amostra de queijo utilizada no experimento.

Nove amostras foram colocadas na posição vertical e totalmente imersas na salmoura (como o queijo é menos denso que a água, foi necessário o uso de linhas de algodão nº 10 para manter o mesmo submerso), para que a distribuição de sal fosse uniforme em todas as faces do queijo. As três amostras restantes foram utilizadas para a determinação de umidade, gordura e concentração inicial de KCl e NaCl. Para uma posterior realização de análise sensorial, uma amostra de queijo (24cm x 10cm x 12cm) salgada tradicionalmente e do mesmo lote foi mantida nas mesmas condições que as amostras salgadas com a mistura 70% NaCl + 30% KCl.

4.1.2 SALGA

As amostras foram mantidas por 5 horas em salmoura estática a $10 \pm 1^\circ C$, pois segundo a modelagem dos dados simulados da difusão multicomponente, durante o período de salga, estimou-se que um tempo de salga entre 4 e 5 horas seria suficiente para a salga do queijo Prato, pois a concentração salina final estaria de acordo com o recomendado para o produto (RAPACCI, 1989; BONA, 2004). A salmoura utilizada foi preparada com concentração salina em torno de 20% (m/m de NaCl:KCl) e pH médio de 5,5, ajustado com solução de ácido clorídrico 0,5 M (FURTADO, 1991). Foi adicionado 0,5% (m/m) de cloreto de cálcio para manter a mesma concentração de cálcio que o queijo tinha inicialmente e também para manter a rigidez superficial da estrutura do queijo durante a salga, sem ocorrer possíveis perdas de cálcio (GEURTS; WALSTRA; MULDER, 1980; GERLA; RUBIOLO, 2003). Utilizou-se uma proporção de 70% de NaCl e 30% de KCl na difusão multicomponente, conforme recomendação de Rapacci (1989).

Segundo Gerla; Rubiolo (2003) e Bona et al. (2005), o volume da salmoura utilizada foi aproximadamente 3,5 vezes maior que o volume (de todas as amostras) do queijo, garantindo assim que a concentração da salmoura permaneça aproximadamente constante durante a salga.

4.1.3 MATURAÇÃO

Após um período de 5 horas de salga, as amostras foram retiradas da salmoura e deixadas secar em geladeira por 2 horas. Em seguida, todas as amostras foram embaladas numa seladora a vácuo SELOVAC, modelo 120-B, para iniciar o período de maturação.

As amostras de queijo ficaram 40 dias maturando sob faixa de refrigeração de 10 ± 1 °C. Após cada tempo determinado de maturação, nove sub-amostras (0, 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 40 dias), uma amostra era retirada para realizar as análises físico-químicas. A maturação do dia 0 (inicial) se refere ao período de 5 horas de salga.

4.1.4 AMOSTRAGEM

Retirou-se a cada dia indicado de maturação, duas sub-amostras cilíndricas, de 1,5 cm de diâmetro e 4 cm de altura, ao longo do eixo X (Bona; 2004), conforme indicado pela figura 2.

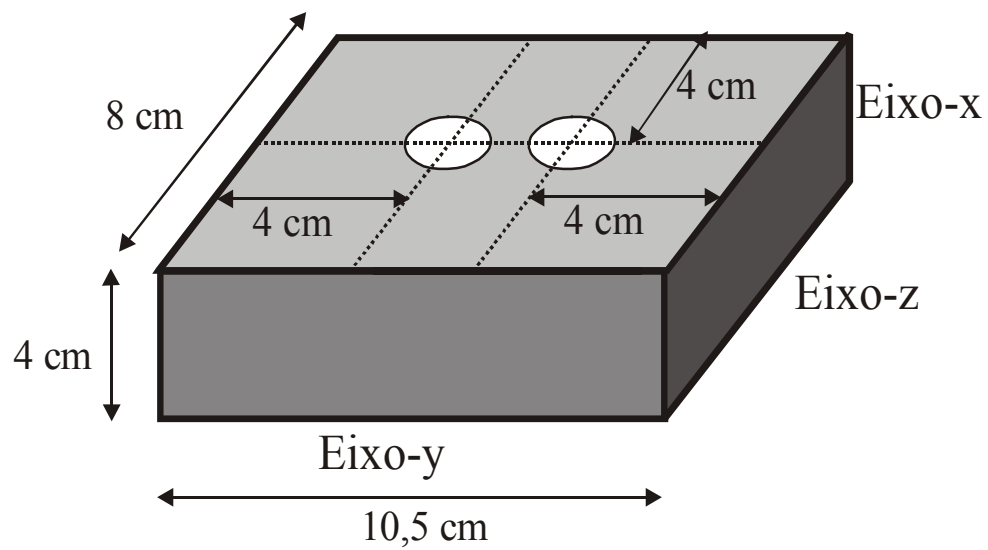


Figura 2 – Amostragem para o estudo da difusão multicomponente.

As sub-amostras cilíndricas foram divididas ao meio, com 2 cm de altura cada uma, sendo os cilindros da mesma face analisados em conjunto (Figura 3).

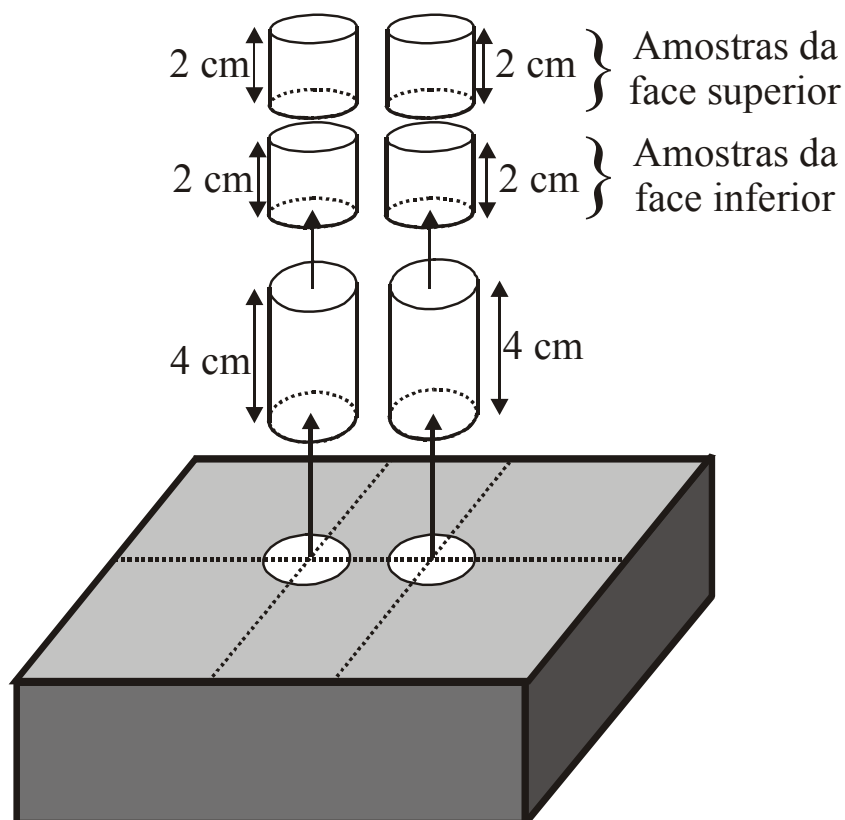


Figura 3 – Corte das amostras cilíndricas do queijo analisado.

Após a retirada das sub-amostras cilíndricas, a amostra foi novamente embalada a vácuo, voltando a maturação para realização posterior da análise sensorial.

As dimensões escolhidas foram baseadas na penetração máxima estimada, pois segundo estudo realizado por Borsato (1996), verificou-se que durante um período de 11 a 12 horas de salga, para o NaCl, a penetração máxima desse sal no queijo seria de 1,5 cm. Assim foi considerado o mesmo valor de penetração máxima para o KCl (BORSATO, 1996; SILVA; BORSATO; SILVA, 1998).

4.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

4.2.1 UMIDADE

O método utilizado foi o de secagem em estufa a 105 °C até massa constante (A.O.A.C., 1984).

As amostras retiradas de cada dia indicado de maturação, após serem devidamente cortadas, foram pesadas numa balança analítica AND, modelo HR – 200, e em seguida transferidas para cadinhos de porcelana devidamente identificados. Para facilitar a perda de água, cada amostra foi triturada, cuidadosamente com o auxílio de uma faca, e depois levada para uma estufa FANEM RETILÍNEA, a 105 °C até se obter massa constante. A umidade foi expressa em g/100 g de amostra base úmida.

4.2.2 GORDURA

A amostra foi medida pelo Método Soxhlet de hidrólise ácida (CECCHI, 2003). Para analisar o conteúdo de gordura, utilizou-se uma amostra que não foi submetida a salga, em duplicata, analisada pelo Laboratório de Análise de Alimentos, no Departamento de Tecnologia de Alimentos e Medicamentos da Universidade Estadual de Londrina.

Pesou-se duas amostras de 5g cada uma que foram transferidas para dois erlenmeyers de 250 mL, acrescentando-se em seguida 50 mL de água fervente e 60 mL de solução de ácido clorídrico 0,8N em cada um. O erlenmeyer foi tampado com vidro de relógio e levado para uma chapa aquecida mantendo

ebulição por 15 minutos. Após seu resfriamento, a amostra foi filtrada e o resíduo lavado com aproximadamente 500 mL de água destilada (até não haver mais evidências de cloretos). O papel de filtro foi seco em estufa a 105 °C por 2 horas, depois colocado em um cartucho para efetuar a extração em Soxhlet, mantendo o refluxo por 2 horas, recuperando em seguida o solvente e levando assim os balões para uma estufa por outras 2 horas. Os balões foram pesados, levados para a estufa por mais 1,5 horas e pesados, novamente, até se verificar que a diferença entre as pesagens sucessivas seja constante.

4.2.3 TEOR DE SÓDIO E POTÁSSIO

Após a determinação da umidade, as amostras foram incineradas, cuidadosamente, para evitar perdas de gordura, em bico de Bunsen e, em seguida, levada para uma Mufla QUIMIS à temperatura de 550 °C por 3 horas. Após o resfriamento dos cadinhos, misturou-se, com o auxílio de um bastão de vidro, 15 mL de solução HCl 0,5 M às cinzas, homogeneizando bem, sendo em seguida filtrada em papel de filtro (QUANTY JP 40 – FAIXA BRANCA). O resíduo resultante foi lavado com três porções de 20 mL de solução HCl 0,5 M cada uma, sendo posteriormente recolhido em um balão volumétrico de 100 mL. Após completar o balão, o filtrado foi transferido para frascos de plástico de 100 mL, para evitar uma possível contaminação do vidro com os íons Na^{1+} e K^{1+} , identificado corretamente e armazenado sob refrigeração para posterior determinação dos seus teores.

Para quantificar os teores de sódio e potássio, foi retirada uma alíquota da solução armazenada e diluída corretamente. A solução formada foi analisada no laboratório de solos do IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná), em

um fotômetro de chama MICRONAL B-262 (Pressão do ar no equipamento = 1,0 bar e pressão da bomba de ar = 1,3 bar) de acordo com a técnica descrita pelo A.O.A.C. (1984).

A fotometria de chama é o método mais indicado para quantificar os metais alcalinos e os alcalinos terrosos, pois a precisão dos resultados é de $\pm 2\%$. Foi observado que o limite de detecção do potássio é maior do que o do sódio. Por isso, foi necessário utilizar diferentes faixas de linearidade. Para o potássio, foi utilizada uma faixa de 0 a 15 ppm (mg/L). Como o sódio é mais sensível à detecção, a faixa de trabalho foi de 0 a 5 ppm, pois outras faixas maiores de valores causam interferência por auto-absorção, alterando o valor final indicado pelo aparelho, conforme foi detectado experimentalmente (OHLWEILER, 1974).

4.3 MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DA DIFUSÃO MULTICOMPONENTE DURANTE A SALGA E A MATURAÇÃO ATRAVÉS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Para reduzir a complexidade de um problema, considerações satisfatórias são comumente envolvidas (ROVEDO; SUAREZ; VIOLLAZ, 1998). Para a formulação da difusão multicomponente simultânea, foram feitas as seguintes considerações:

- Foi modelada a difusão de dois solutos em um queijo tridimensional que ocupa o volume $\Omega \subset R^3$ tal que, $\overline{\Omega} \equiv [-R_1, R_1] \times [-R_2, R_2] \times [-R_3, R_3]$, associado a um sistema de coordenadas cartesianas x, y, z , com origem no centro geométrico do queijo.

- O sistema em estudo foi mantido em condições isotérmicas (10 ± 1 °C), pois o coeficiente de difusão (D) varia com a temperatura.
- O coeficiente de difusão ou difusividade mássica (aparente ou efetivo) foi considerado constante em relação à concentração (independente do tempo e da posição).
- A contração da amostra foi desprezada, pois segundo a literatura a variação de volume é mínima durante a salga.
- A resistência externa foi considerada igual para os dois solutos (NaCl e KCl), por serem estes compostos iônicos muito semelhantes.
- O queijo foi considerado como um bloco poroso, onde a difusão dos sais estudados ocorre pela água do queijo.
- O sistema em estudo foi considerado não reacional, pois mesmo sabendo que reações bioquímicas importantes ocorram (como proteólise, lipólise e glicólise) durante a maturação, seu mecanismo exato é desconhecido, inviabilizando assim sua inclusão no programa.

As concentrações de C_1 e C_2 dos solutos NaCl e KCl, respectivamente, em um ponto $P(x, y, z) \in \Omega$ num instante t , são descritas a partir das equações de ONSAGER (1945), onde as concentrações utilizando a segunda lei de Fick generalizada, ficam sendo:

$$\begin{aligned}\frac{\partial C_1}{\partial t} &= D_{11} \nabla^2 C_1 + D_{12} \nabla^2 C_2 \\ \frac{\partial C_2}{\partial t} &= D_{21} \nabla^2 C_1 + D_{22} \nabla^2 C_2\end{aligned}\tag{1}$$

Onde D_{ii} são os coeficientes de difusão principais e D_{ij} são os coeficientes cruzados.

A seguir, foi utilizada a condição inicial do processo de salga:

$$\begin{aligned} C_1(x, y, z, 0) &= C_{1,0} \\ C_2(x, y, z, 0) &= C_{2,0} \end{aligned} \quad (2)$$

sendo $x, y, z \in \Omega$; $C_{1,0}$ e $C_{2,0}$ as concentrações iniciais dos solutos (previamente determinadas).

As condições de contorno na superfície do queijo (CAUCHY) utilizadas para a salmoura estática foram:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_1(\pm R, t)}{\partial \eta} &= \frac{h_m}{\lambda_m} [C_1 - C_{1,s}] \\ \frac{\partial C_2(\pm R, t)}{\partial \eta} &= \frac{h_m}{\lambda_m} [C_2 - C_{2,s}] \end{aligned} \quad \text{com } x, y, z \in \partial\Omega, t > 0 \quad (3)$$

onde $\partial\Omega$ é o conjunto de pontos da superfície que contorna o queijo; $C_{1,s}$ e $C_{2,s}$ são as concentrações dos solutos que banham o queijo; t o tempo de salga em horas; λ_m é a condutividade mássica $\left(\frac{g}{cm.h}\right)$; h_m o coeficiente de transferência de massa $\left(\frac{g}{cm^2.h}\right)$; $\partial\eta$ o operador de derivada normal (calcula a concentração em relação a um eixo). Essa condição de contorno calcula a concentração de todos os nós superficiais em cada elemento, fornecendo, após a sobreposição de todos os elementos, a concentração superficial dos sais na amostra do queijo analisada, por meio da equação da derivada normal.

O sistema de equações diferenciais parciais formada pela equação (1) e pelas condições (2) e (3) foram solucionadas por meio do método dos elementos finitos (MEF), empregando a formulação de Galerkin generalizada.

A técnica de Galerkin é uma ferramenta que visa minimizar o *resíduo* (expressão resultante da substituição da aproximação proposta na equação que se quer resolver, após satisfazer as condições de contorno) por meio de técnicas de ponderação. O método é genérico, podendo ser aplicado a qualquer tipo de aproximação proposta, mas é limitado a problemas onde é possível calcular com facilidade os termos resultantes da integração do resíduo. Nesta técnica, primeiro procura-se escolher as *funções base* (que visa solucionar a equação formulada do problema proposto), em seguida constroem-se as *funções de aproximação* com as funções base (que devem satisfazer as condições de contorno), substituindo assim a *expressão do resíduo ponderado*, onde a resolução de parte do problema é feita por integração por partes, e por último forma-se as *matrizes do problema* (são funções polinomiais onde para simplificar o cálculo, essas funções base são não nulas apenas em um pequeno subdomínio), terminando assim na resolução do problema proposto (PINTO; LAGE, 2001; SPERANDIO; MENDES; SILVA, 2003).

O número de Biot (Bi) pode ser interpretado como a razão entre a resistência interna e a resistência externa (FRYER; PYLE; RIELLY, 1997), pois quanto maior Bi , menor será a influência da resistência externa sobre a difusão. Os coeficientes de difusão e o número de Biot foram obtidos de Bona (2004). Para a discretização temporal, foi utilizado o esquema implícito de Crank-Nicolson.

A resolução completa da modelagem tridimensional para a salga, utilizada neste trabalho (software SIMUL 3.0, em linguagem Fortran, Pentium III® processador e 256 Mb de memória RAM), pode ser encontrada em BONA (2004).

Com o término do período de salga inicia-se o período de maturação. O método de elementos finitos permitiu simular o período de maturação do queijo Prato, utilizando a equação diferencial (1) e sendo também necessária à mudança da condição de contorno para NEUMANN (equação 4), (BONA, 2004; BORSATO, 1996):

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_1(\pm R, t)}{\partial \eta} &= 0 \\ \frac{\partial C_2(\pm R, t)}{\partial \eta} &= 0 \end{aligned} \quad \text{com } x, y, z \in \partial\Omega, t > 0 \quad (4)$$

Que especifica o valor da derivada normal da variável dependente (C_1 e C_2) e pela condição inicial que representa as concentrações de cloreto de sódio e de potássio, no queijo, ao final do processo de salga.

Com essa mudança, o método vai simular a maturação em função do tamanho do queijo, pois como se pode perceber, igualou-se a zero a equação (4), indicando a interrupção da entrada de sal, oriundo do processo de salga. As adaptações necessárias foram feitas no software empregado. O anexo 1 mostra o fluxograma do algoritmo computacional utilizado para a aplicação do MEF.

Foram utilizados intervalos pequenos para uma apropriada atenuação das oscilações, conforme indicado na tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Influência do Esquema de discretização temporal na simulação da salga e maturação

Número de interações em cada intervalo de tempo				
	0,05h	0,30h	1,00h	12,00h
	2	-	-	-
Salga	-	3	-	-
	-	-	4	-
Maturação	-	-	-	80

4.4 TESTE ESTATÍSTICO

Uma forma usualmente adotada para comparar os dados experimentais com os dados teóricos pode ser empregada por meio do desvio percentual (TELIS; MURARI; YAMASHITA, 2004), como forma de avaliar o ajustamento.

$$\%desvio = 100 \times \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{\bar{C}_{calc} - \bar{C}_{exp}}{\bar{C}_{exp}} \right)_i \right]^2} \times \frac{1}{N}$$

onde:

$\overline{C}_{calc}$ - concentração média estimada

$\overline{C}_{exp}$ - concentração experimental média

N – número de observações consideradas

4.5 ANÁLISE SENSORIAL

4.5.1 AMOSTRAGEM E EQUIPE DE PROVADORES

Os queijos submetidos na análise sensorial, o salgado tradicionalmente com NaCl e o salgado com uma mistura de 70% de NaCl + 30% de KCl, foram obtidos de um mesmo lote. Ambos os queijos estavam armazenados em refrigeração à temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ e embalados à vácuo.

Para a realização dos testes, as amostras foram cortadas nas dimensões de 2cm x 2cm x 2cm, apresentadas aos provadores em pratos de plástico branco, codificados com três dígitos, sendo a ordem de apresentação aleatória. Para analisar a nova formulação utilizada, foi aplicado o teste de diferença Triangular e o teste de aceitação de Escala Hedônica.

O teste triangular foi realizado no laboratório de Análise Sensorial, no Departamento de Tecnologia de Alimentos e Medicamentos (T.A.M.) da Universidade Estadual de Londrina (U.E.L.). A equipe de provadores foi formada por 16 provadores do sexo feminino e 9 provadores do sexo masculino, entre funcionários e alunos de pós-graduação deste departamento. Os testes foram realizados no período da manhã em cabines individuais, iluminadas com lâmpadas

fluorescentes e à luz do dia. Cada provador avaliou 3 amostras codificadas por sessão, não havendo uma possível fadiga sensorial.

O teste de aceitação foi realizado no Departamento de Química da U.E.L.. Participaram desse teste 29 provadores do sexo feminino e 31 provadores do sexo masculino, entre professores e funcionários daquele Departamento, além de alunos de diversos cursos de graduação, recrutados durante a aplicação do mesmo. O teste foi realizado no período matutino; sendo que a cada provador foram oferecidas duas amostras codificadas por sessão.

4.5.2 TESTE TRIANGULAR

O teste triangular foi aplicado para verificar se houve diferença sensorial entre o queijo Prato salgado tradicionalmente (com NaCl) e aquele salgado com a mistura NaCl+KCl.

A finalidade deste método é medir efeitos específicos pela simples discriminação, indicando se as amostras são iguais ou diferentes. (DUTCOSKY, 1996; MORAES, 1983).

O teste foi aplicado a 25 provadores, dos quais foram recrutados aleatoriamente durante a análise sensorial, ou seja, não foi realizado o teste de gostos básicos para a pré-seleção dos provadores, só se preocupando se o provador apresentava conhecimentos básicos de análise sensorial. Em seguida, foi feita apenas uma sessão de orientação (CHAVES, 1980).

Para cada provador foi apresentada uma série de três amostras codificadas, com três dígitos cada uma e em ordem totalmente aleatória. A seguir, foi informado ao provador que duas amostras eram iguais e uma era diferente. O

provador foi solicitado a provar as amostras da esquerda para a direita, lavando a boca entre as amostras, com água filtrada e à temperatura ambiente, e então identificar com um círculo a amostra diferente. Assim a probabilidade de acerto é de 1/3. O Anexo 2 contém um modelo da ficha utilizada na aplicação do teste.

4.5.3 TESTE DE ACEITAÇÃO

A aceitação do queijo Prato salgado tradicionalmente (com NaCl) e do salgado com mistura NaCl+KCl foi avaliada por uma equipe não treinada, composta por 60 provadores, sendo 29 do sexo feminino e 31 do sexo masculino.

O teste de aceitação pode ser considerado uma das principais etapas da análise sensorial, pois representa o somatório de todas as percepções sensoriais e expressa o julgamento, por parte do consumidor, sobre a qualidade do produto (DUTCOSKY, 1996; LAWLESS, 1998). Informações a respeito das características intrínsecas do novo queijo foram que não alterou suas características físico-químicas, microbiológicas e de textura.

Para cada provador foram apresentadas, simultaneamente, duas amostras, codificadas com três dígitos cada uma e aleatorizadas. A seguir, solicitou-se avaliar o quanto gostou ou desgostou de cada amostra, utilizando uma escala hedônica verbal/numérica estruturada de nove pontos (Anexo 3). Os provadores foram instruídos sobre as principais características de qualidade do produto em estudo (CHAVES, 1980). Os dados foram analisados aplicando a análise de variância, no aplicativo computacional Excel, versão 98.

RESULTADOS

E

DISCUSSÃO

5.1. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Na tabela 2 a seguir, encontram-se os valores de umidade, gordura, teor de cloreto de sódio e cloreto de potássio, para a amostra de queijo antes da salga, obtido diretamente da indústria de laticínios.

Tabela 2 – Características iniciais do queijo Prato (não submetido a salga)

Umidade (g/100g de queijo base úmida)	43,67 ± 0,34
Gordura (g/100g de queijo base seca)	52,80 ± 1,00
NaCl (g/100g _{NaCl + KCl + água})	0,1821 ± 0,0060
KCl (g/100g _{NaCl + KCl + água})	0,2459 ± 0,0080

Valores em duplicata.

Como pode ser observado, a concentração inicial de cloreto de potássio (KCl) é maior do que a do cloreto de sódio (NaCl). Isso ocorreu, possivelmente, devido à composição do leite utilizado (CICHOSCKI et al., 2002; SWAISGOOD, 1996).

Em seguida, as amostras de queijo foram mergulhadas na salmoura, por um período de 5 horas. Ao final do período de salga, determinou-se às concentrações de NaCl e KCl e o pH da salmoura, que permaneceram constantes quando comparados com o início da salga (Tabela 3).

Tabela 3 – Características iniciais da salmoura utilizada para a salga do queijo Prato.

Temperatura (°C)	10 ± 1
pH	5,3
CaCl ₂ (g/100g NaCl + KCl + água)	0,5
NaCl (g/100g NaCl + KCl + água)	13,59
KCl (g/100g NaCl + KCl + água)	5,06
Proporção entre os sais	72,9% NaCl : 27,1% KCl
Volume da salmoura/ volume do queijo	3,5

* As condições finais são as mesmas do que as iniciais.

O cálculo para determinar as unidades de concentração (g/100g_{NaCl + KCl + água}), foram empregados por recomendação de Pajonk ; Saurel; Andrieu (2003) para considerar como base o sistema ternário.

Como indicado anteriormente, foi utilizado um período de salga de 5 horas, devido aos excelentes resultados da simulação computacional realizada por Bona et al. (2006), para os experimentos de salga realizados com o queijo Prato, nos quais a concentração dos sais estaria dentro dos valores recomendados para evitar alterações sensoriais, segundo Rapacci (1989) e utilizados no presente trabalho.

A variação da concentração de NaCl e KCl experimentais em função dos dias indicados de maturação, pode ser observados na tabela 4.

Tabela 4 – Concentração experimental de NaCl e KCl observados nas amostras em função dos dias de maturação.

Maturação (dias)	NaCl (g/100g _{NaCl + KCl + água})		KCl (g/100g _{NaCl + KCl + água})	
	Valores experimentais	Proporção (%)	Valores experimentais	Proporção (%)
0	1,3940	60,7	0,9025	39,3
1	1,5867	64,4	0,8774	35,6
5	1,6423	64,9	0,8851	35,0
10	1,9215	66,0	0,9903	34,0
15	2,2569	64,9	1,2198	35,1
20	2,3341	64,9	1,2606	35,0
25	2,3452	64,8	1,2722	35,1
30	2,3785	66,1	1,2169	33,8
40	2,5420	66,1	1,3012	33,8

Com exceção do início (dia zero) de maturação (5 horas de salga), a proporção média entre os sais manteve-se em torno de 65% para o NaCl e 35% para o KCl. A proporção experimental de KCl encontrado no queijo foi muito semelhante à verificada por Rapacci (1989) e Bona (2004), que relataram uma substituição de 37% do NaCl pelo KCl para o queijo Prato, salgado com a mesma proporção de sais na salmoura.

Os dados experimentais para o sódio e o potássio foram comparados com os valores encontrados por outros autores, conforme a tabela 5 a seguir.

Tabela 5 – Concentrações experimentais de sódio e potássio encontrados por diversos autores na literatura especializada.

QUEIJO	Na	K	REFERÊNCIA
Prato ¹	0,471g/100g _{queijo}	0,327g/100g _{queijo}	Esse trabalho
Prato ¹	0,478g/100g _{queijo}	0,359g/100g _{queijo}	Bona, 2004
Prato ¹	0,525g/100g _{queijo}	0,312g/100g _{queijo}	Rapacci, 1989
Cheddar ²	0,457g/100g _{queijo}	0,523g/100g _{queijo}	Fitzgerald e Buckley, 1985
Cheddar ³	0,240g/100g _{queijo} 0,290g/100g _{queijo}	0,340g/100g _{queijo} 0,410g/100g _{queijo}	Lindsay et al, 1982
Kefalograviera ⁴	1,001g/100g _{queijo} 0,664g/100g _{queijo}	0,404g/100g _{queijo} 0,814g/100g _{queijo}	Katsiari et al, 1998
Feta ⁵	0,846g/100g _{queijo} 0,356g/100g _{queijo}	0,581g/100g _{queijo} 0,699g/100g _{queijo}	Katsiari et al, 1997

¹ Salmoura estática 20% (m/m) com 70% NaCl e 30% KCl; temperatura 10 ± 1°C; maturação 40 dias; gordo e semiduro.

² Salmoura 2,5% sal NaCl:KCl (1:1 m/m); temperatura 4 ± 1°C; maturação 16 semanas; gordo e semiduro.

³ Salmoura 1,9% e 2,5% NaCl:KCl (1:1 m/m); temperatura 3 ± 1°C; maturação 90 dias; gordo e semiduro.

⁴ Salmoura (A) 20% (m/m) NaCl por 2 dias; (B) 20% NaCl:KCl (3:1 m/m); (C) 20% NaCl:KCl (1:1 m/m); temperatura 10 ± 2°C; maturação 180 dias; semigordo e semiduro.

⁵ Salmoura (A) 20% (m/m) NaCl por 2 dias; (B) 20% NaCl:KCl (3:1 m/m); (C) 20% NaCl:KCl (1:1 m/m); temperatura 2°C; maturação 240 dias; semigordo e mole (leite de ovelha).

Os teores experimentais encontrados para o Na e K (g/100g_{queijo}) foram similares aos valores encontrados por Rapacci (1989) e Bona (2004), para o mesmo tipo de queijo (Prato), mas teores diferentes podem ocorrer devido as diferentes características (como o tempo de salga, a composição do queijo, a concentração total de sal) apresentadas por outros autores.

Após a determinação das concentrações de NaCl e KCl experimentais, foi utilizado o software SIMUL 3.0 associado a um método de otimização simplex, ambos apresentados por BONA et al (2005), para ajustes recursivos dos coeficientes de difusão e do número de Biot e, conseqüentemente, estimativa dos valores calculados pelo modelo. A tabela 6, a seguir, mostra a comparação entre esses valores.

Tabela 6 – Valores de concentração experimentais e estimados pelo aplicativo computacional para o NaCl e KCl.

Maturação (dias)	NaCl (g/100g _{NaCl + KCl + água})		KCl (g/100g _{NaCl + KCl + água})	
	Valores	Valores	Valores	Valores
	experimentais	estimados	experimentais	estimados
0	1,3940	1,5130	0,9025	0,8770
1	1,5867	1,5130	0,8774	0,8782
5	1,6423	1,6611	0,8851	1,0161
10	1,9215	2,0433	0,9903	1,2303
15	2,2569	2,2883	1,2198	1,3203
20	2,3341	2,4275	1,2606	1,3565
25	2,3452	2,5078	1,2722	1,3708
30	2,3785	2,5552	1,2169	1,3757
40	2,5420	2,6015	1,3012	1,3766

Para a realização do procedimento da solução numérica, foi projetada uma malha, com as mesmas dimensões do queijo trabalhado, para encontrar o elemento de interpolação (elemento 25), que coincide com o local da amostragem para a realização do procedimento experimental. O Método dos Elementos Finitos (MEF) serve para prever a concentração final do soluto em equilíbrio, bem como a concentração em um determinado instante e/ou posição. O anexo 4 mostra essa distribuição e apresenta com detalhes a sequência da numeração dos elementos na malha. Assim, as estimativas para os coeficientes aparentes de difusão e o número de Biot encontram-se na tabela 7.

Tabela 7 – Valores ajustados para os parâmetros pelo método de otimização Simplex.

	NaCl	KCl
Coeficientes principais (cm ² /dia)	0,242 (D ₁₁)	0,254 (D ₂₂)
Coeficientes cruzados (cm ² /dia)	0,019 (D ₁₂)	0,039 (D ₂₁)
Número de Biot (adimensional)	33,154 ^(a)	
$\frac{h_m}{\lambda m}$ (cm) ⁻¹	16,577	

^(a) Relacionado com o eixo x.

O valor do número de Biot foi considerado pequeno (menor do que 100), indicando que a resistência externa à transferência de sais durante a salga influencia o mecanismo de difusão (Bona et al, 2006), quando se utiliza uma salmoura estática.

O coeficiente aparente de difusão principal do NaCl (D_{11}) é menor do que o do KCl (D_{22}), indicando que como os íons potássio são maiores, formam redes mais fracas com a matriz protéica do queijo, permitindo assim uma maior fluidez na água do queijo. Além disso, a proporção de KCl foi menor na salmoura, sugerindo que a migração do KCl seja mais rápida (fácil) do que a do NaCl.

Os valores dos coeficientes cruzados foram menores do que os dos coeficientes principais, indicando que a difusão em relação ao próprio gradiente é mais importante do que a interferência de um soluto em relação ao fluxo do outro, podendo também ser considerados praticamente dissociáveis (Figura 4).

A estimativa para o coeficiente aparente (ou efetivo) de difusão do NaCl ficou de acordo com os valores citados, ou seja, entre 0,18 a 0,25 cm²/dia (FURTADO, 1991). O coeficiente correspondente para o KCl, tanto quanto se sabe, na maturação do queijo Prato, como estimativa é uma informação nova.

Os desvios médios, considerando-se 40 dias de maturação, são indicados na tabela 8. A seguir, é mostrado o perfil dos valores experimentais e o perfil dos valores estimados para os sais NaCl e KCl, através da figura 4. Apesar dos perfis estimados, para o NaCl e o KCl, serem superestimados em relação aos dados experimentais respectivos é notável que a difusão multicomponente tenha sido satisfatoriamente simulada na maturação, considerando-se a hipótese simplificadora de um sistema não reacional. O valores experimentais, tanto para o NaCl quanto para o KCl, apresentaram comportamento análogo relativamente aos valores estimados pelo MEF. O fato de estarem superestimados pode estar relacionado com as transformações bioquímicas (proteólise, lipólise e glicólise) que ocorrem durante a maturação.

Tabela 8 – Desvios percentuais obtidos durante a maturação para o NaCl e KCl

	NaCl	KCl
% desvio médio	5,40	11,57

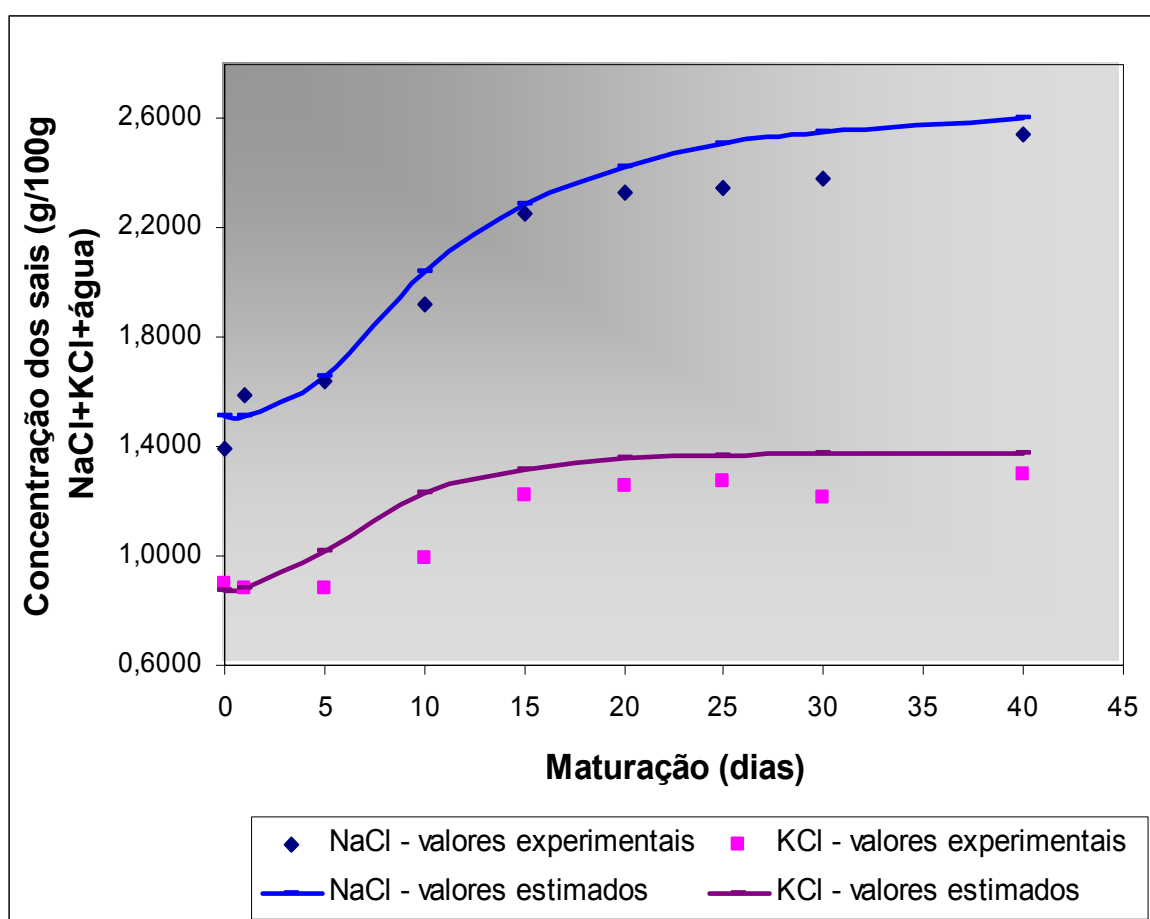


Figura 4 – Gráfico dos valores experimentais e estimados pelo MEF informatizado, para os sais NaCl e KCl durante a maturação do queijo Prato.

Os valores dos coeficientes aparentes de difusão (D) cruzados, para o NaCl e o KCl, foram menores do que os valores encontrados por Zorrilla; Rubiolo (1994a) e, também, foram de 6 a 12 vezes menores do que os valores de D principais, mostrando que um soluto exerce relativamente pouca influência sobre o fluxo do outro durante a sua difusão salina no queijo.

Os valores de D principais neste trabalho foram menores quando comparados com outros autores, como Zorrilla; Rubiolo (1994a), observando-se que quanto menor o seu valor, menor é a facilidade de transferência de massa por difusão, apesar de serem queijos com características diferentes.

Os valores de D para os sais são numericamente diferentes (Tabela 6). Assim, pode-se especular a existência de um maior poder polarizante do sódio em relação ao potássio, ou seja, o potássio apresenta um campo elétrico mais fraco, possibilitando uma maior fluidez na solução (CHENLO et al., 2005; FENNEMA, 1996).

Observou-se, ainda, que foi possível, com o uso do Método de Elementos Finitos (M.E.F.), simular a difusão dos sais durante a maturação do queijo Prato. Os resultados simulados mostraram boa capacidade preditiva em relação aos dados obtidos experimentalmente, validando, a aplicação do M.E.F. para uma difusão multicomponente na maturação do queijo Prato.

A figura 5 a seguir, mostra o perfil de distribuição salina para o NaCl, e a figura 6 mostra o perfil de distribuição salina para o KCl, durante 60 dias de maturação, ambos estimados pelo MEF.

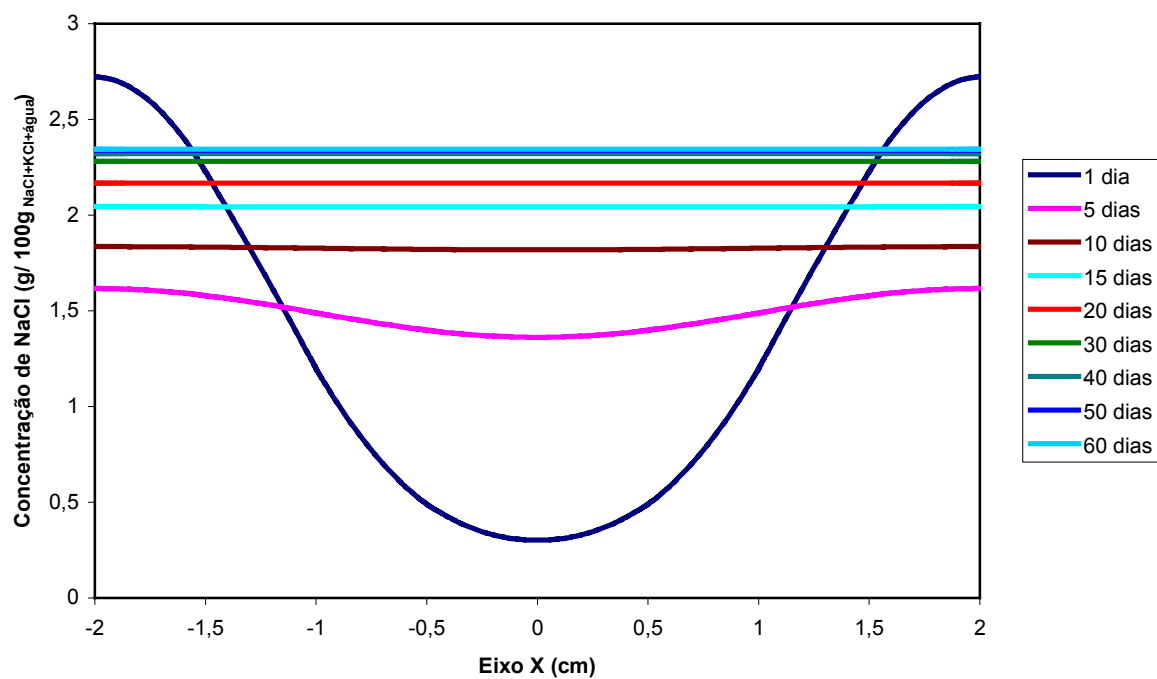


Figura 5 - Perfil de distribuição salina para o NaCl, durante um período de até 60 dias de maturação, obtido por simulação.

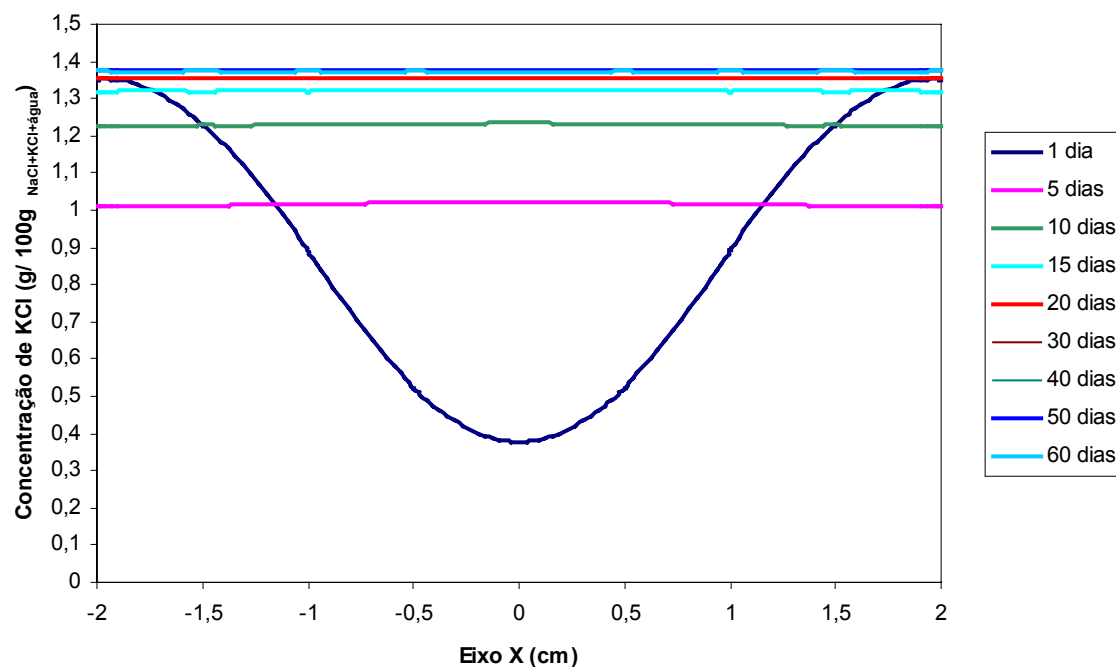


Figura 6 – Perfil de distribuição salina para o KCl, durante um período de até 60 dias de maturação, obtido por simulação.

As figuras 5 e 6 indicam os perfis de distribuição salina para os sais NaCl e KCl, respectivamente, ao longo do eixo x, do cilindro retirado como amostra (figura 2).

No primeiro dia de maturação observa-se uma concentração maior de sal nas extremidades da amostra, comprovando que durante o processo de salga e o início da maturação, uma grande quantidade de sal se encontra na superfície do queijo.

A partir do décimo dia de maturação, observa-se que deixa de existir um gradiente de concentração ao longo do eixo x, pois as distribuições salinas estão homogêneas. Passa-se a perceber um aumento da concentração ao longo dos dias de maturação, provenientes das direções relativas aos eixos y e z (figura 2).

Como pode ser observado na figura 5, estabelecida por simulação, uma distribuição salina uniforme para o NaCl se daria em torno de 25 dias de maturação. Resultados semelhantes foram encontrados por Borsato (1996).

A figura 6 mostra o perfil simulado de distribuição salina para o KCl durante 60 dias de maturação, obtendo um comportamento análogo ao NaCl. Observa-se que 25 dias de maturação seria o suficiente para garantir uma distribuição homogênea de sal no queijo. Na prática, porém, o período legal (de 20 a 30 dias) já haveria suficiente homogeneidade salina para um período de validade entre 4 e 6 meses.

5.2. AVALIAÇÃO SENSORIAL

5.2.1. TESTE TRIANGULAR

Ao analisar os dados obtidos a partir das amostras avaliadas, observou-se que a amostra salgada com NaCl+KCl foi identificada corretamente somente nove vezes, entre os 25 testes aplicados. Utilizando uma tabela de significância para o teste triangular (DUTCOSKY, 1996), verificou-se que o número mínimo de respostas corretas para estabelecer uma diferença é de 13, indicando assim que não houve diferença (sensorial) significativa entre os queijos salgado tradicionalmente com NaCl e aquele salgado com mistura utilizada neste trabalho de NaCl+KCl, em nível de 5% ($p > 0,05$).

Alguns comentários foram realizados a respeito do queijo salgado com a mistura NaCl+KCl. As observações mais relevantes a considerar foram que alguns provadores (16%) afirmaram ser a diferença entre as amostras quase imperceptível, ou seja, não encontraram diferença entre os queijos; mas outros provadores (32%) disseram ter o queijo uma textura diferente, ser mais duro e ter sabor mais acentuado.

5.2.2. TESTE DE ACEITAÇÃO

A figura 7 mostra um histograma formado pelas notas atribuídas pelos provadores a cada tipo de queijo, sendo estas notas expressas em porcentagem.

O teste de preferência para as duas amostras de queijo Prato foi avaliado por 60 provadores não treinados, entre homens (56%) e mulheres (46%). As notas concedidas pelos provadores ao queijo elaborado com a mistura NaCl+KCl utilizada neste trabalho foram em grande parte superiores a sete, indicando uma boa aceitação, pois na escala hedônica (Anexo 3) utilizada sinaliza apenas uma mudança em relação à intensidade (gostei moderadamente a gostei muitíssimo).

Os valores médios das notas atribuídas aos queijos salgado tradicionalmente com NaCl e com a mistura NaCl+KCl foram, respectivamente, 7,78 e 7,71 (Tabela 11). A aceitação do queijo produzido com a mistura NaCl+KCl foi, portanto, menor do que a do queijo tradicional com NaCl. Analisando os resultados obtidos pelo teste estatístico ANOVA, pode-se afirmar que não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre estas notas. O resumo da análise de variância realizada com as notas concedidas pelos provadores aos tratamentos (amostras) pode ser visto no Anexo 5.

Tabela 11 – Valores médios das notas atribuídas pelos provadores aos diferentes tratamentos durante o teste de aceitação

Tratamentos	Valores Médios das Notas
Queijo tipo Prato salgado tradicionalmente com NaCl	7,78 ^a ± 1,5111
Queijo tipo Prato salgado com mistura de NaCl+KCl*	7,71 ^a ± 0,9758

^a médias com a mesma letra superescrita na mesma linha não diferem ($p>0,05$).

* 70% NaCl + 30% KCl

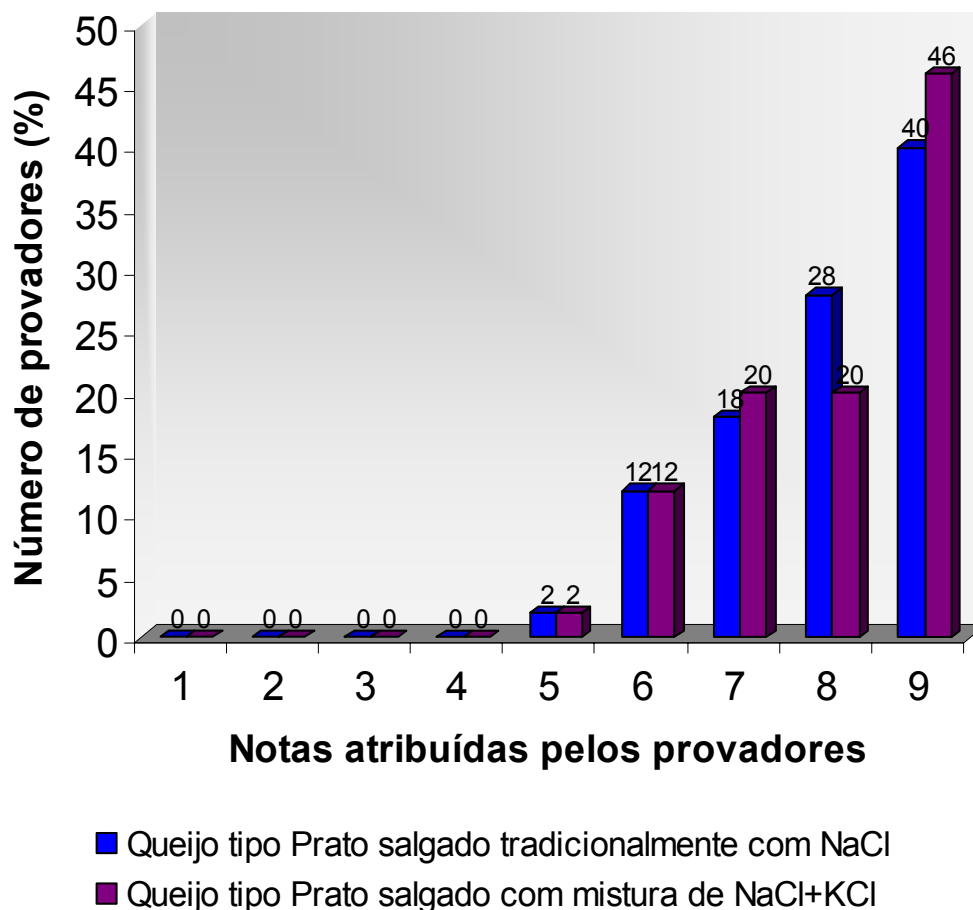


Figura 7 - Distribuição da freqüência das notas atribuídas pelos provadores aos diferentes tratamentos

A porcentagem de provadores que atribuiu nota igual a nove (“gostei muitíssimo”) foi maior para o queijo formulado com a mistura. A maior diferença pode ser vista entre o número de provadores que atribuiu nota igual a oito (28 e 20%).

Somente 14% dos provadores atribuíram notas inferiores a seis para o queijo processado com a mistura NaCl+KCl (Figura 10). Diante desses resultados, pode-se dizer que 86% da equipe aprovaram o produto.

Alguns provadores fizeram comentários, em relação ao queijo salgado com mistura NaCl+KCl, que merecem ser destacadas. Diversos provadores (13%) comentaram que não detectaram diferença entre as amostras e 5% concluíram ser mais saboroso. Já outros provadores (10%) disseram ser menos saboroso; 4% informaram ser mais duro ao mastigar e 2% relataram o amargor do queijo.

5.3. QUEIJO PRATO COM REDUÇÃO DE SÓDIO NA DIETA ALIMENTAR

Decidiu-se quantificar a repercussão do consumo de um queijo com teor reduzido de sódio, com ênfase na substituição de parte do sódio por potássio, sem alteração significativa de sabor.

A tabela 12, a seguir informa o teor nominal de sódio de diversas marcas de queijo Prato, tipo lanche, encontrado no comércio varejista local.

Tabela 12 – Teor nominal de sódio de diversas marcas de queijo Prato

MARCA	SÓDIO*	SÓDIO*
(Tipo Lanche)	(PORÇÃO DE 30g)	(100g QUEIJO)
A	190 mg	633,34 mg
B	190 mg	633,34 mg
C	160 mg	533,34 mg
D	210 mg	700,00 mg
E	170 mg	566,67 mg
F	145 mg	483,34 mg
G	262 mg	873,34 mg
H	190 mg	633,34 mg
I	190 mg	633,34 mg
J (Light)	360 mg	1200 mg
K (Light)	190 mg	633,34 mg
Média	205,18 ± 59,39 mg	683,95 ± 197,97 mg

Fonte: Pesquisa realizada em supermercados da cidade de Londrina.

* Informação do rótulo nutricional

Tomando-se por base o teor de sal no queijo Prato salgado tradicionalmente (média 683,95 mg/ 100g queijo) e o conteúdo do mesmo mineral no queijo salgado com a mistura NaCl+KCl (471mg/ 100g queijo e 327mg/ 100g queijo) verifica-se uma redução na ordem de 30% de sódio em relação ao queijo tradicional.

De acordo com a pirâmide de Alimentos (Anexo 6), o número de porções de alimentos que pertencem ao grupo de leite e laticínios (leite, iogurte e queijos), que deve ser ingerido por dia é de três a quatro, sendo que cada porção correspondente à 30g, ou seja, 2 fatias de queijo. Estas porções têm como objetivo fornecer parte de proteínas e de gorduras, além de suprir as necessidades diárias de cálcio no organismo (SOUZA, 2003).

Verifica-se que, em média, uma porção (30g) de queijo Prato tradicional (30g) fornece 205,18mg de sódio. A mesma porção de queijo salgada com a mistura de NaCl+KCl garantiria 141,32mg de sódio e 98,00mg de potássio, totalizando 239,22mg de Na^+ e K^+ , proporcionando uma redução de 31,12% de sódio por porção. A Associação Americana do Coração – AHA (2002) recomenda uma ingestão de potássio mínima de 4,7 g/dia, tomando cuidado com os pacientes sensíveis do potássio (diabéticos e com problemas renais). Assim, a quantidade de potássio na porção de queijo Prato, não causaria problemas para estes pacientes sensíveis ao potássio, e também garantiria uma redução no consumo de sódio diário.

Partindo-se do princípio de que um único alimento não satisfaz todas as necessidades do organismo, este queijo iria contribuir para uma menor ingestão de sódio, fornecendo, assim, mais opções àqueles consumidores com restrição ao sódio.

Com o desenvolvimento de processos para a incorporação de KCl em substituição parcial ao NaCl no queijo Prato, o controle na produção é necessariamente mais rigoroso. Daí, a vantagem da simulação para a previsão das concentrações finais desses sais.

6. CONCLUSÃO

- Foi possível simular a difusão multicomponente durante a maturação de queijo Prato com um sistema ternário ($\text{NaCl} + \text{KCl} + \text{água}$) através da segunda lei de Fick generalizada para os solutos salinos utilizados.
- Os dados simulados durante a maturação foram coerentes com os dados experimentais, validando assim a aplicação do método dos elementos finitos na solução do problema de difusão multicomponente durante o processo;
- Os resultados obtidos nos testes sensoriais aplicados indicaram uma ótima aceitabilidade do queijo formulado, tornando-se, portanto, uma opção viável para consumidores que necessitam de um queijo Prato com reduzido teor de sódio, que corresponde a uma redução de cerca de 30% de sódio numa porção de 30g.

BIBLIOGRAFIA

ADDISON, W.L.T. The use of sodium chloride, potassium chloride, sodium bromide, and potassium bromide in cases of arterial hypertension which are amenable to potassium chloride. In: HE, Feng J.; MacGREGOR, Graham A. Potassium Intake and Blood Pressure. **American Journal of Hypertension**, n. 12, p. 849-851, 1999.

AGUILERA, José M. Why food microstructure? **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 3-11, 2005.

AKIN, J.E. **Aplication and implementation of finite element methods**. London: Academic Press, 1982.

ALVES, Gilberto. **Parâmetros físico-químicos envolvidos na padronização e no rendimento de queijo Prato: modelagem matemática**. 1995. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

AMERICAN HEART ASSOCIATION. Disponível em: <<http://www.americanheart.org>>, 2002. Acesso em: 26 de junho de 2006.

ANONYMOUS. Dietary Salt. **Food Techonology**, v. 34, n. 1, p. 85-91, 1980.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>, 2006. Acesso em 10 de setembro de 2006.

A.O.A.C. – Association of Official Agricultural Chemists. **Official Methods of Analysis**, 14 ed., p. 1141, 1984.

ATKINS, Peter Willian. **Físico-Química**, 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997. v.3

AUDIST, M. J.; WALSH, B. J.; THOMSON, N. A. Seasonal and lactational influences on bovine milk composition in New Zealand. In: CICHOSCKI, Alexandre et al. Characterization of Prato Cheese, a Brazilian semi-hard cow variety: evolution of physico-chemical parameters and mineral composition during ripering. **Food Control**, v. 13, p. 329-336, 2002.

AUGUSTO, Ana Lucia P.; ALVES, D.C.; MANNARINO, I.C. **Terapia Nutricional**. Rio de Janeiro: Atheneu, p. 235-237, 1995.

BICKFORD, William B. **A first course in the finite element method**. Boston:Irwin, p. 404-474, 1990.

BONA, Evandro; SILVA, Rui Sergio S. F.; BORSATO, Dionísio; SILVA, Luiz Henry M., FIDELIS, Dayanne Aline de Souza. MULTICOMPONENT DIFFUSION MODELLING AND SIMULATION IN PRATO CHEESE SALTING DURING BRINE AT REST: THE FINITE ELEMENT METHOD APPROACH. **Journal of Food Engineering**, *article in press*, 2006.

BONA, Evandro. **“Salga mista com NaCl e KCl em queijo prato: Modelagem da difusão multicomponente com o emprego do método dos elementos finitos”**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

BONA, Evandro; BORSATO, Dionísio; SILVA, Rui Sergio S.F.; SILVA, Luiz Henry M. Difusão Multicomponente durante a salga mista de queijo Prato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 35, n. 2, p. 394-400, 2005.

BONASSI, I. A. Fabricação de queijos. In: **I SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – LEITE**. Universidade Estadual de Londrina, 1982.

BORSATO, Dionísio. **“Difusão do cloreto de sódio no processo de salga e maturação de queijos: modelagem matemática com o emprego do método de elementos finitos”**. 1996. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

BOUTROU, R.; SEPULCHRE, A.; GRIPON, J.C.; MONNET, V. Simple Tests for Predicting the Lytic Behavior and Proteolytic activity of Lactococcal Strains in Cheese. **Journal of Dairy Science**, v. 81, p. 2321-2328, 1998.

BREBBIA, C.A.; FERRANTE, A.J. **The finite element technique: an introduction for engineers**. Porto Alegre: UFRGS, p. 110-143, 1975.

BRESSAN, Juan A.; CARROAD, Paul A.; MERSON, Larry R.; DUNKLEY, Walter L. Modeling of isothermal diffusion of whey components from small curd Cottage cheese during washing. **Journal of Food Science**, v. 47, p. 84-88, 1981.

CECCHI, Heloisa Máscia. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas: Editora da Unicamp, p. 36-59, 2003.

CHAVES, Jose Benício Paes. **Avaliação sensorial dos Alimentos (Métodos de Análises)**. Minas Gerais: UFV, 1980.

CHAVES, M.S.; LUNA, J.A.; GARROTE, R.L. A mathematical model to describe potato chemical (NaOH) peeling. Energy and mass transfer model resolution. **Journal of Food Engineering**, v. 32, p. 209-223, 1997.

CHENLO, F.; MOREIRA, R.; FERNÁNDEZ-HERRERO, C.; VÁSQUEZ, G. Mass transfer during osmotic rehydration of chestnut using sodium chloride solutions. **Journal of Food Engineering**, *article in press*, 2005.

GHUNG, T. J. **Finite element analysis in fluid dynamics**. New York: McGRAW HILL, p. 378, 1978.

CICHOSCKI, Alexandre J.; VALDUGA, Eunice; VALDUGA, Alice T.; TORNADIJO, Maria E.; FRESNO, José M. Characterization of Prato Cheese, a Brazilian semi-hard cow variety: evolution of physico-chemical parameters and mineral composition during ripening. **Food Control**, v. 13, p. 329-336, 2002.

COLLINS, E. B. Influence of medium and temperature on end products and growth. **Journal of Dairy Science**, v. 60, n. 5, p. 799-804, 1977.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2.ed. London: Oxford University Press, p. 1-10, 1975.

DJELVEH, G.; GROSS, J-B.; EMAN-DJOMED, Z. Osmotic dehydration of foods in a multicomponent solution. Part II – Water loss and solute uptake in agar gels and meat. **Lebensm.-Wiss. u.- Technol.**, v. 34, p. 319-323, 2001.

DOORENBOS, C. J.; VERMEIJ, C. G. Danger of salt substitutes that contain potassium in patients with renal failure. **British Medical Journal**, v. 326, p. 35-36, 2003.

DUTCOSKY, Silvia Deboni. **Análise Sensorial dos Alimentos**. Curitiba: Champagnat, 1996.

EMAM-DJOMEH, Z.; DJELVEH, G.; GROS, J.B. Osmotic dehydration of foods in a multicomponent solution. Part I – Lowering of solute uptake in agar gels: diffusion considerations. **Lebensm.-Wiss. u.- Technol.**, v. 34, n. 5, p. 312-318, 2001.

EMMANUEL, Simon; CORTIS, Andrea; BERKOWITZ, Brian. Diffusion in multicomponent systems: a free energy approach. **Chemical Physics**, v. 302, p. 21-30, 2004.

EPAMIG – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. **Tecnologia de Fabricação de queijos**. Juiz de Fora, 1981.

FARALDO, Lucia Mizaguti Zampini. **“Aceleração da cura do queijo Prato através da utilização de *Lactobacillus casei subsp. casei*”**. 1995. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

FENNEMA, Owen R. Water and Ice. In: WHITAKER, J.R.; TANNENBAUN, S.R. **Food Chemistry**. New York: Marcel Dekker, 3 ed., p. 17-94, 1996.

FOX, P. F **Advanced Dairy Chemistry: Lactose, Water, Salts and Vitamins**, 2 ed. London: Chapman & Hall, 1997. v.3

FOX, P. F. Proteolysis During Cheese Manufacture and Ripening. **Journal of Dairy Science**, v. 72, n. 6, p. 1379-1400, 1989.

FOX, Patrick F.; GUINEE, Timothy P.; COGAN, Timothy M.; McSWEENEY, Paul L.H. **Fundamentals of Cheese Science**. Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc., 2000.

FRANKLIN, Stanley S. Systolic Blood Pressure. **American Journal of Hypertension**, v. 17, n. 12, p. 49s-54s, 2004.

FRANZONI, F.; SANTORO, G.; CARPI, A.; DA PRATO, F.; BATOLOMUCCI, F.; FEMIA, F.R.; PRATTICHIZZO, F.; GALETTA, F. Antihypertensive effect of oral potassium aspartate supplementation in mild to moderate arterial hypertension. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 59, p. 25-29, 2005.

FRYER, P.J.; PYLE, D.L.; RIELLY, C.D. **Chemical Engineering for the Food Industry**. London: Blackie Academic & Professional, p. 462, 1997.

FURTADO, Múcio Mansur. **A arte e a ciência do queijo**. 2.ed. São Paulo: Globo, 1991.

FURTADO, Múcio Mansur. **Fundamentos básicos da fabricação de queijos semi-cozidos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1989.

FURTADO, Múcio Mansur. Uso e avaliação de culturas mistas na fabricação do queijo Prato. **Informe Agropecuário**, v. 10, n. 115, p. 31-35, 1984.

FURTADO, Múcio Mansur; SOUZA, Heloisa Maria. Estudo Rápido Sobre a Evolução da Salga do Queijo Prato em Salmoura. **Revista do I.L.C.T.**, p. 5-10, jan/fev 1981.

FURTADO, Múcio Mansur; WOLFSCHOON-POMBO, Alan Fredercik. Fabricação de queijo Prato e Minas: estudo do rendimento. Parte I – Determinação das cifras de transição. **Revista do I.L.C.T.**, v. 34, n. 206, p. 3-10, set/out 1979.

FURTADO, Múcio Mansur; SOUZA, Heloisa Maria; MUNCK, Alberto Valentim. Controle de Salga e Umidade do Queijo Prato Pelo Banho de Água Gelada. **Revista do I.L.C.T.**, v. 34, n. 206, p. 9-14, jul/ago 1979.

FURTADO, Múcio Mansur; WOLFSCHOON-POMBO, Alan Fredercik. Étude de quelques aspects de la fabrication des fromages brésiliens Prato et Minas. **Le Lait**, v. 58, n. 578, p. 510-530, 1978.

GERLA, Patricia E.; RUBIOLO, Amelia C. A model for determination of multicomponent diffusion coefficients in foods. **Journal of Food Engineering**, v. 56, p. 401-410, 2003.

GEURTS, T.J.; WALSTRA, P.; MULDER, H. Transport of salt and water during salting of cheese. I. Analysis of the process involved. **Neth. Milk Dairy Journal**, v. 28, p. 102-129, 1974.

GEURTS, T.J.; WALSTRA, P.; MULDER, H. Transport of salt and water during salting of cheese. II. Quantities of salt taken up and of moisture lost. **Netherlands Milk Dairy Journal**, v. 34, p. 229-254, 1980.

GOROSTIZA, Amparo; CICHOSCKI, Alexandre J.; VALDUGA, Alice T.; VALDUGA, Eunice; BERNARDO, Ana; FRESNO, José M. Changes in soluble nitrogenous compounds, caseins and free amino acids during ripening of artisanal Prato cheese; a Brazilian semi-hard cows variety. **Food Chemistry**, v. 85, p. 407-414, 2004.

GORRETA, J. G. Coalho e Coagulantes. **Revista do I.L.C.T.**, v. 35, n. 210, p. 17-21, 1980.

GUINEE T. P.; FOX, P. F. Salt in cheese: physical, chemical e biological aspects. In: FOX, P. F. **Cheese: Chemistry, Physical and Microbiology**. New York: Elsevier Applied Science Publishers LTD, v. 1, cap. 7, p. 215-297, 1987.

HE, Feng J.; MacGREGOR, Graham A. Benefical effects of potassium. **British Medical Journal**, v. 323, p. 497-503, 2001.

HE, Feng J.; MacGREGOR, Graham A. Potassium Intake and Blood Pressure. **American Journal of Hypertension**, n. 12, p. 849-851, 1999.

JAGER, Heike; WOZNIAK, Gernold; AKINTURK, Ismail-Hakan; HEHRLEIN, Friedrich W.; SCHEINER-BOBIS, Georgios. Expression of sodium pump isoforms and other sodium or calcium ion transporters in the heart of hypertensives patients. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1513, p. 149-159, 2001.

KAMALY, K. M.; MARTH, E. H. Enzyme activities of latic Streptococci and their role in maturation of cheese: a review. **Journal of Dairy Science**, v. 72, n. 8, p. 1945-1966, 1989.

KAMATH, S.; PURI, V.M. Finite element model development and validation for incipient flow analysis of cohesive powders from hopper bins. **Powder Technology**, v. 102, p. 184-193, 1999.

KATSIARI, M. C.; VOUTSINAS, L.P.; ALICHANIDIS, E.; ROUSSIS, I.G. Manufacture of Kefalograviera cheese with less sodium by partial replacement of NaCl with KCl. **Food Chemistry**, v. 61, n. ½, p. 63-70, 1998.

KATSIARI, M. C.; VOUTSINAS, L.P.; ALICHANIDIS, E.; ROUSSIS, I.G. Reduction of sodium content in Feta cheese by partial substitution of NaCl by KCl. **International Dairy Journal**, v. 7, p. 465-472, 1997.

KAWANO, Yuhei; MINAMI, Junichi; TAKISHITA, Shuichi; OMAE, Teruo. Effects of Potassium Supplementation on Office, Home, and 24-h Blood Pressure in Patients with Essential Hypertension. **American Journal of Hypertension**, v. 11, p. 1141-1146, 1998.

KAYMAC-ERTEKIN, Figen; SULTANOGLU, Mustafa. Modeling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, v. 46, p. 243-250, 2000.

KHALID, N. M.; EL SODA, M.; MARTH, E. H. Esterases of *Lactobacillus helveticus* and *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*. **Journal of Dairy Science**, v. 73, n. 10, p. 2711-2719, 1990.

KHALID, N. M.; MARTH, E. H. Proteolytic activity by strains of *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus casei*. **Journal of Dairy Science**, v. 73, n. 11, p. 3068-3076, 1990.

KHIN, Mya Mya; ZHOU, Weibiao; PERERA, Conrad O. A study of the mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. **Journal of Food Engineering**, *article in press*, 2005.

KILCAWLEY, Kieran N.; WILKINSON, Martin G.; FOX, Patrick F. Enzyme-Modified Cheese: Review. **International Dairy Journal**, v. 8, p. 1-10, 1998.

KOSIKOWSKI, F. Low sodium Cheddar cheeses through whole milk retentate supplementation. **Journal of Dairy Science**, v. 66, n. 12, p. 2494-2500, 1983.

KOSIKOWSKI, Frank. **Cheese and Fermented Milk Foods**, 2 ed. New York: F. V. Kosikowski and Associates, p. 419-445, 1978.

LAW, Barry A. Controlled and accelerated cheese ripening: the research base for new technologies. **International Dairy Journal**, v. 11, p. 383-398, 2001.

LAWLESS, H.T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food – Principles and Practices**. New York: Champmam & Hall, 1998.

LEE, S. Y.; LEE, B. H. Esterolytic and lipolytic activities of *Bactobacillus casei subsp. casei* LLG. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 1, p. 199-122, 126, 1990.

LEIBA, Adi L.; LERAYER, Alda L.S.; CARVALHO, Antônio F.; BUCIONE, Ary; KESTENER, Beatriz, M.A.C.; MOSQUIM, Maria C.A.; NUTTI, Marília R.; FILHO, Pedro S. Does dietary recall adequately assess sodium, potassium, and calcium intake in hypertensive patients? **Nutrition**, v. 21, p. 462-466, 2005.

LERAYER, Alda L.S.; CARVALHO, Antônio F.; BUCIONE, Ary; KESTENER, Beatriz M.A.C.; MOSQUIM, Maria C.A.; NUTTI, Marília R.; FILHO, Pedro S. **Nova Legislação de Produtos Lácteos e de Alimentos para Fins Especiais, Diet, Light e Enriquecidos**. São Paulo: Fonte Comunicação e Editora, p. 60-89, 1998.

LI, Long-Yuan. Numerical simulation of mass transfer during the osmotic dehydration of biological tissues. **Computational Materials Science**, *article in press*, 2005.

LIN, Y.E.; ANANTHESWARAN, R.C.; PURI, V.M. Finite element analysis of microwave heating of solid foods. **Journal of Food Engineering**, v. 25, p. 85-112, 1995.

LOMAURO, G.J.; BAKSHI, A.S. Finite element analysis of moisture diffusion in stored foods. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 392-396, 1985.

LUNA, Julio A.; CHAVEZ, Mónica S. Mathematical model for water diffusion during brining of hard and semi-hard cheese. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 1, p. 55-58, 1992.

LUNA, Julio A.; BRESSAN, Juan A. Mass transfer during ripening of Cuartirolo argentino cheese. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 2, p. 308-311, 1987.

LUNA, Julio A.; BRESSAN, Juan A. Mass transfer during brining of Cuartirolo argentino cheese. **Journal of Food Science**, v. 51, n. 3, p. 829-831, 1986.

LYNCH, Nancy M. In Search of the Salty Taste. **Food Technology**, v. 33, n. 12, p. 57-59, 64, 1979.

MAHAN, Kathleen L.; ESCOTT-STUMP, Sylvia. **Krause: Alimentos, Nutrição e Dietoterapia**, 9 ed. São Paulo: Roca, p. 136-582, 1998.

MARTINS, R.C. Simple finite volumes and finite elements procedures for food quality and safety simulations. **Journal of Food Engineering**, *article in press*, 2005.

MARTINS, R.C.; SILVA, C.L.M. Inverse problem methodology for thermal-physical properties estimation of frozen green beans. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 383-394, 2004.

MAYOR, L.; MOREIRA, R.; CHENLO, F.; SERENO, A.M. Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. **Journal of Food Engineering**, *article in press*, 2005.

McCARTY, Mark F. Should we restrict chloride rather than sodium? **Medical Hypotheses**, v. 63, p. 138-148, 2004.

MEDINA-VIVANCO, M.; SOBRAL, A.; HUBINGER, M.D. Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. **Chemical Engineering Journal**, v. 86, p. 199-205, 2002.

MEDVEDEV, Oleg O.; SHAPIRO, Alexander A. Verifying reciprocal relations for experimental diffusion coefficients in multicomponent mixtures. **Fluid Phase Equilibria**, v. 208, p. 291-301, 2003.

MENEELY, George R.; BATTARBEE, Harold D. High sodium-low potassium environment and hypertension. **The American Journal of Cardiology**, v. 38, n. 6, p. 768-785, 1976.

MORAES, Maria Amélia Chaib. **Métodos para Avaliação Sensorial dos Alimentos**, 4 ed. Campinas: Unicamp, 1983.

MORRIS, H.A.; GUINEE, T.P.; FOX, P.F. Salt diffusion in Cheddar cheese. **Journal of Dairy Science**, v. 68, n. 8, p. 1851-1858, 1985.

NAUMAN, E.B.; SAVOCA, J. An engineering approach to an unsolved problem in multicomponent diffusion. **AIChE Journal**, v. 47, n. 5, p. 1016-1021, 2001.

OHLWEILER, O. A. **Química Analítica Quantitativa**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1974. v. 3

OLIVEIRA, Jose Satiro. **Queijo: Fundamentos Tecnológicos**. Campinas: Unicamp, 1986. 2.ed.

OLIVEIRA, Jose Eduardo Dutra; SANTOS, Avany Correa; WILSON, Eva Donilson. **Nutrição Básica**. São Paulo: Sarvier, p. 147-155, 1982.

ONSAGER, L. **Theories and Problems of Liquid Diffusion**. Ann. N. Y. Acad. Sci., v. 46, p. 241, 1945.

OSLON, N. F. Effects of sodium reduction on natural cheeses. **Dairy Field**, Wisconsin, v. 72, p. 48-50, 1982.

PAJONK, A.S.; SAUREL, R.; ANDRIEU, J. Experimental study and modeling of effective NaCl diffusion: coefficients values during Emmental cheese brining. **Journal of Food Engineering**, v. 60, n. 4, p. 307-313, 2003.

PAYNE, Mark R.; MORISON, Ken R. A multi-component approach to salt and water diffusion in cheese. **International Dairy Journal**, v. 9, p. 887-894, 1999.

PINTO, José C.; LAGE, Paulo L.C. **Métodos Numéricos em Problemas de Engenharia Química**. Rio de Janeiro: E-papers Ltda., 2001.

PURI, V.M.; ANANTHESWARAN, R.C. The finite element method in food processing: a review. **Journal of food engineering**, v. 19, p. 247-274, 1993.

RAPACCI, Marcia. **Efeito da substituição do cloreto de sódio por cloreto de potássio nas características do queijo Prato**. 1989. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. **Lebensm.-Wiss. u- Technol.**, v. 37, p. 43-47, 2004.

RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S.; NIRANJAN, K.; KNORR, D. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science & Technology**, v. 13, p. 48-59, 2002.

RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S.; NIRANJAN, K. Mass transfer during osmotic dehydration of Banana: Fickian diffusion in cylindrical configuration. **Journal of Food Engineering**, v. 31, p. 423-432, 1997.

REDDY, Anjan K.; MARTH, Elmer H. Proteolysis of Cheddar cheese made with sodium chloride, potassium chloride or mixtures of sodium and potassium chloride. **Lebensm-Wiss. u. Technol.**, v. 26, p. 434-442, 1993a.

REDDY, Anjan K.; MARTH, Elmer H. Composition of Cheddar cheese made with NaCl and KCl either singly or as mixtures. **J. Food Composition and Analysis**, v. 6, p. 354-363, 1993b.

ROSENSTOCK, J.; LOIZOU, S.A.; BRAJKOVICK, I.E.; MASHITER, K.; JOPLIN, G.F. Effect of acute hyperglycaemia on plasma potassium and aldosterone levels in type 2 (non-insulin dependent) diabetes, In: HE, Feng J.; MacGREGOR, Graham A. Beneficial effects of potassium. **British Medical Journal**, v. 323, 2001.

ROVEDO, Clara O.; SUAREZ, Constantino; VIOLLAZ, Pascual. Analysis of moisture profiles, mass Biot number and driving forces during drying of potato slabs. **Journal of Food Engineering**, v. 36, p. 211-231, 1998.

RUDNICH, Annie; SAFAR, Michel E.; LAJEMI, Malika; BENETOS, Athanase. Gene Polymorphisms of the Renin-Angiotensin System and Age-Related Changes in Systolic and Diastolic Blood Pressure in Subjects with Hypertension. **American Journal of Hypertension**, v. 17, n. 4, p. 321-327, 2004.

RUUSUNEN, Marita; PUOLANNE, Eero. Reducing sodium intake from meat products. **Meat Science**, v. 70, p. 531-541, 2005.

SAGUY, Sam I.; MARABI, Alejandro; WALLACH, Rony. New approach to model rehydration of dry foods particulates utilizing principles of liquid transport in porous media. **Tends in Food Science & Technology**, *article in press*, 2005.

SCHROEDER, C.L.; BODYFELT, F.W.; WYATT, C.J.; McDANIEL, M.R. Reduction of sodium chloride in Cheddar cheese: effect of sensory, microbiological and chemical properties. **Journal of Dairy Science**, v. 71, p. 2010-2020, 1988.

SCHWARTZBERG, Henry G.; CHAO, Rong Y. Solute diffusivities in leaching processes. **Food Techonology**, v. 36, n. 2, p. 73-86, 1982.

SCOTT, R. Cheesemaking Operations. In: **Milk as a raw material for cheese**. 2 ed., New York: Elsevier Applied Science Publishers, cap. 6, p. 44-74, 1986.

SEMAN, D. L.; OLSON, D. G.; MANDIGO, R. W. Effect of reduction and partial replacement of sodium on bologna characteristics and acceptability. **Journal of Food Science**, v. 45, n. 5, p. 1116-1121, 1980.

SHI, J.; LE MAGUER, M. Mass Transfer Flux at Solid-Liquid Contacting Interface. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 3, p. 193-199, 2003.

SILVA, Rui Sergio F.; BORSATO, Dionisio; SILVA, Luiz Henry M. Difusão do cloreto de sódio no processo de salga de queijos: modelagem matemática com o emprego do método de elementos finitos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 1, p. 87-92, 1998.

SIMAL, S.; SÁNCHEZ, E.S.; BON, J.; FEMENIA, A.; ROSSELLÓ, C. Water and salt diffusion during cheese ripening: effect of the external and internal resistances to mass transfer. **Journal of Food Engineering**, v. 48, p. 269-275, 2001.

SIMON, Gesa. Experimental Evidence for Blood Pressure-Independent Vascular Effects of High Sodium Diet. **American Journal of Hypertension**, v. 16, p. 1074-1078, 2003.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE HIPERTENSÃO. Disponível em: <<http://www.sbh.org.br>>, 2002. Acesso em: 26 de junho de 2006.

SODA, M. EL Acceleration of Cheese Ripening: Recent Advances. **Journal of Food Protection**, v. 49, n. 5, p. 395-399, may 1986.

SORENSEN, John; BENFELDT, Connie. Comparison of ripening characteristics of Danbo cheeses from two dairies. **International Dairy Journal**, v. 11, p. 355-362, 2001.

SOUSA, M. J.; ARDO, Y.; McSWEENEY, P. L. H. Advances in the study of proteolysis during cheese ripening. **International Dairy Journal**, v. 11, p. 327-345, 2001.

SOUZA, Rejane Dias Neves. “**Queijo tipo Minas frescal com Isoflavonas: abordagem físico-química, textural, sensorial e microbiológica**”. 2003. Tese (Doutorado em Alimentos), Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

SPERANDIO, Décio; MENDES, João T.; SILVA, Luiz Henry M. **Cálculo Numérico – características matemáticas e computacionais dos métodos numéricos**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

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

SVETKEY, Laura P.; HARSHA, David W.; VOLLMER, William M.; STEVENS, Victor J.; OBARZANEK, Eva; ELMER, Patricia J.; LIN, Pao-Hwa; CHAMPAGNE, Catherine; SIMONS-MORTON, Denise G.; AICKIN, Mikel; PROSCHAN, Michael A.; APPEL, Lawrence J. Premier: A Clinical Trial of Comprehensive Lifestyle Modification for

Blood Pressure Control: Rationale, Design and Baseline Characteristics. **A.E.P.**, v. 13, n. 6, p. 462-471, 2003.

SWAISGOOD, H. E. Characteristics of milk. In: FENNEMA, O. R. (ed.) **Food Chemistry**. New York: Marcel Dekker, 3 ed., cap. 4, p. 842-876, 1996.

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

TOMASETTI, C.S.C.; ACCORSI, D.M.P. **Pirâmide Alimentar Adaptada**. Londrina: Unopar, 2001.

b

TURHAM, M.; KALENTUNÇ, G. Modeling of salt diffusion in White cheese during long-term brining. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 5, p. 1082-1085, 1992.

VISSER, Servaas. Proteolytic Enzymes and Their Relation to Cheese Ripening. **Journal of Dairy Science**, v. 76, n. 1, p. 329-350, 1993.

ZORRILLA, Susana E.; RUBIOLO, Amelia C. Modelling average concentrations of salt and salt substitute in partial or total volumes of semihard cylindrical cheeses. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 33, p. 501-508, 1998.

ZORRILLA, Susana E.; RUBIOLO, Amelia C. Kinetics of Casein Degradation during Ripening of Fynbo Cheese Salted with NaCl/KCl Brine. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 2, p. 386-389, 1997.

ZORRILLA, Susana E.; RUBIOLO, Amelia C. Fynbo cheese NaCl and KCl changes during ripening. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 5, p. 972-975, 1994a.

ZORRILLA, Susana E.; RUBIOLO, Amelia C. Modeling NaCl and KCl movement in Fynbo cheese during salting. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 5, p. 976-980, 1994b.

ZORRILLA, Susana E.; RUBIOLO, Amelia C. Average NaCl concentration in cheese for different volume ratios of brine and solid during salting. **Journal of Food Science**, v. 56, p. 1548-1551, 1991.

WALSTRA, P.; NOOMEN, A.; GEURTS, T. J. Dutch-type Varieties. In: Fox, P. F. **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. Elsevier Applied Science Publishers, London, v. 2, p. 45-92, 1987.

WANG, L.; SUN, D. Recent developments in numerical modeling of heating or cooling processes in the food industry – a review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 14, p. 408-423, 2003.

WHELTON, Paul K.; BURING, Julie; BORHANI, Nimat O.; COHEN, Jerome D.; COOK, Nancy; CUTTER, Jeffrey A.; KILEY, John E.; KULLER, Lewis H.; SATTERFIELD, Suzanne; SACKS, Frank M.; TAYLOR, James O. The Effect of Potassium Supplementation in Persons with a High-Normal Blood Pressure. **Annals of Epidemiology**, v. 5, n. 2, p. 85-95, 1995.

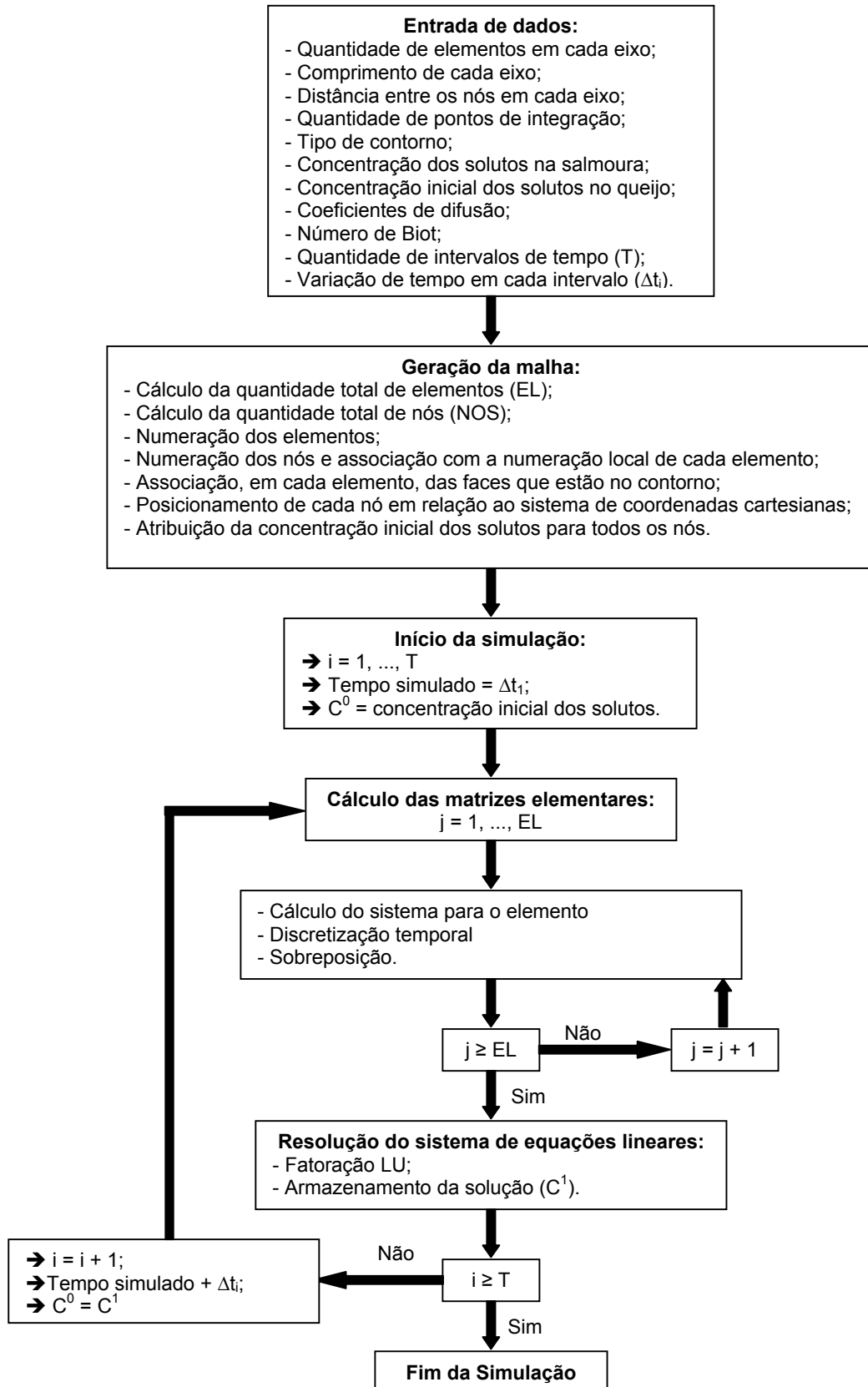
WOLFSCHOON-POMBO, Alan Frederick Índices de proteólise em alguns queijos brasileiros. **Boletim do Leite**, v. 55, n. 661, p. 1-8, 1983.

YAO, Zhiming; MAGUER, Marc Le. Mathematical modeling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part I: conceptual and mathematical models. **Journal of Food Engineering**, v. 29, p. 349-360, 1996.

YOUNG, D. B.; McCABE, R. D. Endocrine control of potassium balance, In: HE, Feng J.; MacGREGOR, Graham A. Beneficial effects of potassium. **British Medical Journal**, v. 323, 2001.

ANEXOS

Anexo 1: Fluxograma do algoritmo computacional construído para aplicação do MEF.



ANEXO 2 – Modelo de ficha que foi utilizada para o teste triangular

TESTE TRIANGULAR

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

Por favor, prove as amostras codificadas de queijo tipo Prato, da esquerda para a direita. Duas amostras são iguais e uma é diferente. Identifique com um círculo a amostra diferente.

Comentários.....

ANEXO 3 – Modelo de ficha que foi utilizada para o teste de aceitação.

TESTE HEDÔNICO

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

Avalie cada uma das amostras codificadas, da esquerda para a direita, e use a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou de cada amostra.

9 – gostei muitíssimo

8 – gostei muito

7 – gostei moderadamente

6 – gostei ligeiramente

5 – nem gostei/ nem desgostei

4 – desgostei ligeiramente

3 – desgostei moderadamente

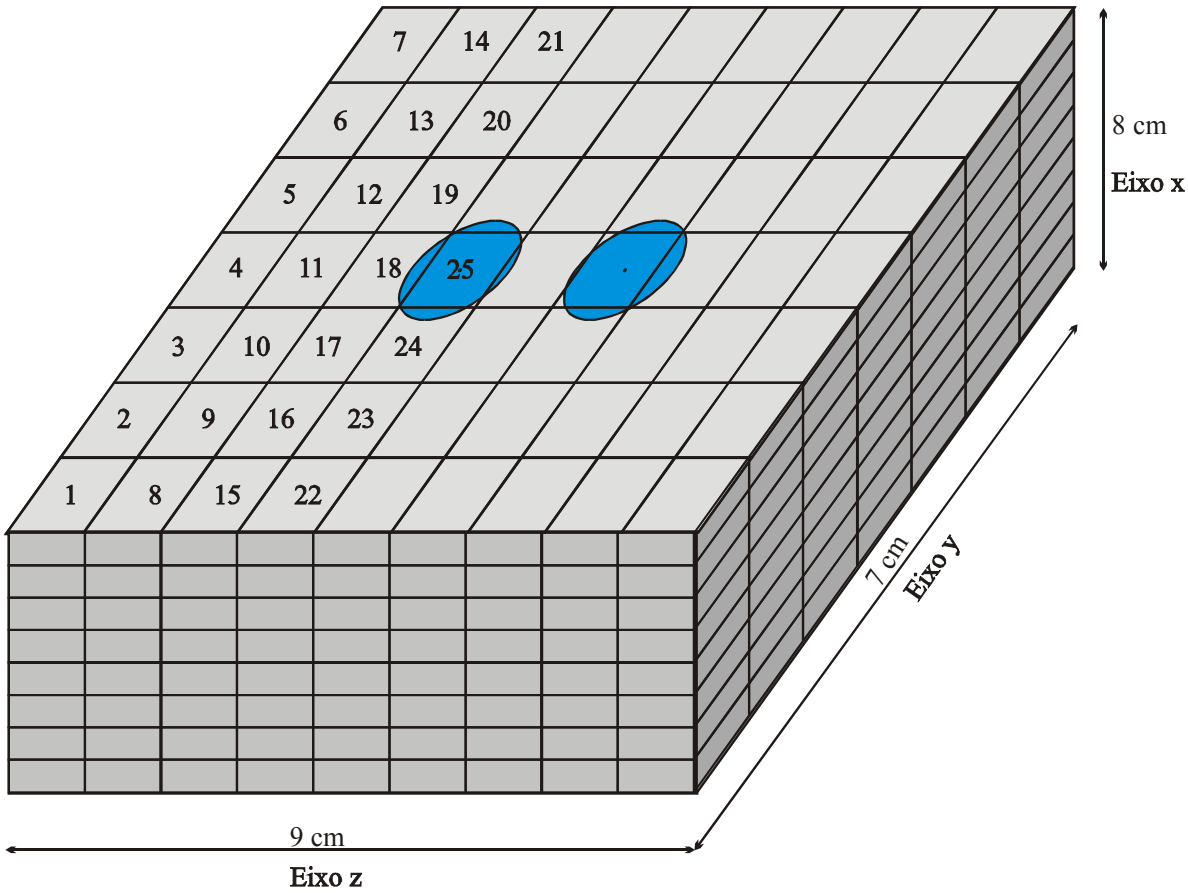
2 – desgostei muito

1 – desgostei muitíssimo

Amostra

Valor

Anexo 4 – Malha projetada para a realização do procedimento teórico-preditivo e experimental.



Anexo 5: Resumo Estatístico: ANOVA

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
Coluna A	60	467	7,783333	1,325141
Coluna B	60	463	7,716667	0,95226

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>QM</i>	<i>F calc</i>	<i>F tab</i>
Tratamento	0,133333	1	0,133333	0,117093	3,921485
Resíduo	134,3667	118	1,138701		
Total	134,5	119			

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)