

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

***ESTUDO DA IMPREGNAÇÃO A VÁCUO EM ALIMENTOS POROSOS***

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos

*Orientador: Prof.º Dr. José Antonio Ribeiro de Souza*

*Co-orientador: Prof.º Dr. João Borges Laurindo*

**LUCIANA CAMPOS HOFMEISTER**

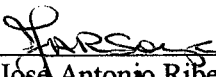
*Eng.º Químico*

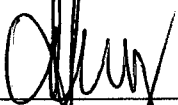
Florianópolis, 24 de fevereiro de 2003.

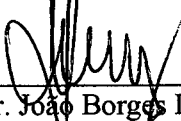
# "Estudo da Impregnação a Vácuo em Alimentos Porosos"

**Luciana Campos Hofmeister.**

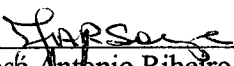
Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Alimentos**, área de **Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos**, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.

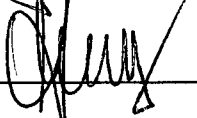
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Borges Laurindo  
Co-orientador


  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Borges Laurindo  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
Em Engenharia de Alimentos

## **Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Borges Laurindo

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr.ª Mara Gabriela Novy Quadri

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Kil Jin Park

**Florianópolis, 24 de fevereiro de 2003.**

*Dedico este trabalho  
aos meus pais,  
Vera Lúcia e Cláudio  
e ao Cristian,  
pelo apoio incondicional.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos professores José Antonio Ribeiro de Souza e João Borges Laurindo pela orientação, apoio e amizade.

Ao Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, que possibilitou a realização desta dissertação.

Aos colegas e amigos do laboratório PROFI pela amizade, compreensão e carinho.

Aos secretários da pós-graduação de Engenharia Química e de Alimentos pela colaboração.

À colega Renata pelo auxílio.

A todas as pessoas que de alguma forma tenham acompanhado e contribuído para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, pelo companheirismo.

Aos meus pais, pelo incentivo e apoio.

Ao Cristian, por tudo.

À Deus.

## RESUMO

Um estudo experimental sobre a impregnação a vácuo de alimentos porosos com soluções líquidas foi realizado. A impregnação de sal em queijo do tipo Minas (salga a vácuo) e a impregnação de soluções de sacarose em maçã e abacaxi foram estudadas. A salga do queijo tipo Minas é uma das etapas importantes do seu processamento, sendo realizada classicamente pela imersão do mesmo em solução salina a 22% em massa de NaCl. A diminuição do tempo de salga é desejável, uma vez que essa etapa pode durar várias horas, dependendo do tamanho do queijo. O processo da salga a vácuo de queijo Minas foi estudado, realizando experimentos em uma câmara de vidro hermeticamente fechada (dessecador), onde os queijos, imediatamente após a prensagem, foram mergulhados em uma solução salina. Em alguns experimentos a salmoura foi tingida com azul de metileno. Os experimentos foram realizados sob vácuo contínuo ou intermitente, dependendo do caso. O vácuo foi realizado com o auxílio de uma bomba de laboratório, atingindo-se a pressão de operação (entre 100 mmHg e 120 mmHg) em 60 segundos. Para evitar a flutuação dos queijos durante o processo de salga, uma tela foi colocada sobre os mesmos, mantendo-os submersos durante a duração de cada experimento. Depois de um tempo pré-estabelecido, a câmara era aberta e os queijos retirados, cortados e analisados quanto à concentração média de sal ou fotografados, visando observar a penetração da solução colorida. As análises de concentração de NaCl foram realizadas utilizando-se a metodologia de Mohr modificada. A aplicação de vácuo intermitente favoreceu o processo de salga do queijo, devido aos mecanismos de deformação e relaxação da estrutura que forma o queijo. A distribuição de sal no interior das amostras foi mais homogênea nos queijos impregnados a vácuo, quando comparada a salga convencional. Trabalhos de pesquisa devem ser realizados para estudar as características sensoriais do queijo salgado a vácuo, pois os processos de deformação e de relaxação que ocorrem durante a aplicação do vácuo intermitente podem promover modificações de textura nos queijos. Os resultados obtidos neste trabalho indicam claramente a possibilidade de utilização da salga a vácuo na produção do queijo Minas. Quanto às impregnações das frutas, foi evidenciada a influência da viscosidade da solução de sacarose na eficiência da impregnação, o que é previsto pelo Mecanismo Hidrodinâmico publicado na literatura. Os experimentos demonstraram a impregnação sob vácuo da maçã com soluções de sacarose é sem dúvida uma alternativa interessante à desidratação osmótica dessa fruta, pois o vácuo acelera significativamente o processo de penetração do açúcar.

## ABSTRACT

An experimental study about the vacuum impregnation of porous food with liquid solutions was accomplished. The salt impregnation in Minas cheese (vacuum salting) and the saccharose solutions impregnations in apple and pineapple were studied. The salting of the type Minas cheese is one of the important stages of its processing, being accomplished classically by its immersion in saline solution (22% in NaCl). The decrease of the salting time is desirable, once this stage can take several hours, depending on the size of the cheese. The salting of Minas cheese under vacuum was studied, performing experiments in a hermetically closed glass chamber, where the cheeses, immediately after pressing, were plunged into a saline solution. In some experiments the saline solution was dyed with methylene blue. The experiments had been carried through under continuous or intermittent vacuum, depending on the case. A vacuum (between 100 mmHg and 120 mmHg) was obtained in 60 seconds with a laboratory vacuum pump. To avoid cheeses flotation during the salting process, a steel screen was placed over them about the same, keeping them submerged during the experiment. After the pre-established time, the chamber was opened to cut or to photograph the samples of impregnated cheeses. The pictures were used to analyze the penetration of the dye solution inside the samples. The cheeses samples concentrations were analyzed regarding the average concentration of salt, using a modified Mohr Methodology. The application of intermittent vacuum favored the salting process, due to the deformation-relaxation mechanisms of the cheese structure. The salt distribution inside the samples was more homogeneous in the cheeses impregnated under the vacuum process. Additional researches should be done to study the sensory characteristics of the salty cheese under vacuum, because deformations and relaxations processes can promote texture modifications of the cheeses. The results obtained in this work indicate that the vacuum salting of the Minas cheese can be a good option. Regarding the impregnations of the fruit, it was evidenced the influence of the viscosity of the saccharose solution in the efficiency of the impregnation, what was partially foreseen by the Hydrodynamic Mechanism published in the literature. The experiments demonstrated that the impregnation under vacuum of apples with saccharose solutions is an better option to than osmotic dehydration of this fruit, because the vacuum accelerates significantly the penetration of the sugar.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	01
<b>LISTA DE TABELAS</b>	04
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	05
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO</b>	07
<b>CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	09
2.1. Queijo Minas Frescal	09
2.2. Impregnação a Vácuo no Queijo Minas Frescal	12
2.3. Desidratação Osmótica Aplicada a Frutas	13
2.4. Impregnação a Vácuo em Alimentos Porosos	15
2.4.1. Mecanismo Hidrodinâmico	15
2.4.1.1. Bases Teóricas do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM)	16
2.4.2. Acoplamento do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) com os Fenômenos de Deformação – Relaxação (DRP)	20
2.4.2.1. Modelo Matemático do Acoplamento do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) e dos Fenômenos de Deformação – Relaxação (DRP)	20
<b>CAPÍTULO III – MATERIAL E MÉTODOS</b>	27
3.1. Materiais Utilizados	27
3.1.1. Obtenção dos Queijos Minas Frescal	27
3.1.2. Preparação das Amostras de Frutas	28
3.1.3. Soluções Utilizadas nos Experimentos	28
3.2. Experimentos de Impregnação	28
3.2.1. Impregnação a Vácuo	28
3.2.2. Impregnação à Pressão Atmosférica	29
3.3. Estudo Qualitativo: Ensaio com Queijos e Frutas Utilizando Soluções Coloridas	29
3.3.1. Ensaio com Queijo Minas Frescal	29
3.3.2. Ensaio com Frutas	30
3.4. Estudo Quantitativo: Variação Global e Perfis de Concentração de NaCl no Queijo	31
3.4.1. Impregnação a Vácuo	31
3.4.2. Impregnação a Pressão Atmosférica	32

3.4.3. Determinação da Variação de Massa do Queijo Minas Frescal devido ao Processo de Salga	32
3.4.4. Determinação da Fração Volumétrica de Líquido Impregnada no Interior dos Poros do Queijo através do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM)	32
3.4.5. Preparação das Amostras para a Determinação dos Perfis de Concentração de NaCl	33
3.4.6. Técnica Analítica para a Determinação da Concentração de NaCl	34
3.4.6.1. Materiais	34
3.4.6.1.1. Queijo	34
3.4.6.1.2. Reagentes	35
3.4.6.2. Titulação de Precipitação	35
3.4.6.2.1. Marcha Analítica	35
3.4.6.2.2. Cálculos	36
3.4.7. Apresentação dos Perfis de Concentração de NaCl	36
<b>CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	38
4.1. Estudo Qualitativo: Ensaio com Queijos e Frutas Utilizando Soluções Coloridas	38
4.1.1. Ensaio com Queijo Minas Frescal	38
4.1.1.1. Influência da Intensidade do Vácuo	38
4.1.1.2. Influência do Tempo de Aplicação do Vácuo	39
4.1.1.3. Influência da Intensidade da Prensagem dos Queijos	40
4.1.1.4. Influência da Idade do Queijo	41
4.1.1.5. Influência dos Mecanismos de Deformação-Relaxação	42
4.1.1.6. Comparação da Salga a Vácuo (Intermitente) com a Salga à Pressão Atmosférica	43
4.1.2. Ensaio com Frutas	45
4.1.2.1. Ensaio com Água Colorida	45
4.1.2.2. Ensaio com Solução Colorida de Sacarose a 10%	47
4.1.2.3. Ensaio com Solução Colorida de Sacarose a 39%	49
4.2. Estudo Quantitativo: Variação Global e Perfis de Concentração de NaCl no Queijo	51
4.2.1. Determinação da Variação de Massa do Queijo Minas Frescal entre a Etapa de Prensagem e a Salga	51



4.2.2. Determinação da Fração Volumétrica de Líquido Impregnada no Interior dos Poros do Queijo através do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM)	53
4.2.3. Impregnação a Vácuo: Perfis de Concentração de NaCl	54
4.2.4. Impregnação à Pressão Atmosférica: Perfis de Concentração de NaCl	62
4.2.5. Comparação entre os Perfis de Concentração de NaCl nos Queijos	64
4.2.6. Comparação entre as Concentrações Médias de NaCl nos Queijos	65
4.2.7. Verificação da Variação da Concentração de NaCl nos Queijos durante a Estocagem	66
4.3. Comparação entre os Ensaios com Queijo Minas Frescal Utilizando Solução Colorida e os Ensaios de Determinação dos Perfis de Concentração de NaCl	67
<b>CAPÍTULO IV - CONCLUSÕES</b>	68
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	70

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Fluxograma genérico de produção do queijo minas frescal.	11
Figura 2.2 - Esquema de atuação do HDM em um poro ideal.	16
Figura 2.3 - Valores de $x_v$ segundo a equação (2.11), para diferentes valores de $p_r$ e R.	19
Figura 2.4 - Sistema sólido-líquido: evolução da Relaxação-Deformação e HDM num poro ideal.	21
Figura 3.1 - Câmara de vácuo utilizada para realização dos ensaios de impregnação a vácuo.	29
Figura 3.2 - Cortes realizados no queijo minas frescal para a determinação dos perfis de concentração de NaCl.	34
Figura 3.3 - Fatia de queijo minas frescal, que representa os perfis de concentração de NaCl no interior do mesmo.	37
Figura 4.1 - (a) Ensaio EQ1, impregnação utilizando vácuo intermitente de 600 mmHg durante 2h. (b) Ensaio EQ2, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h.	39
Figura 4.2 - (a) Ensaio EQ3, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 1h. (b) Ensaio EQ4, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (b) Ensaio EQ5, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 3h.	40
Figura 4.3 - (a) Ensaio EQ6, queijo prensado com prensa de 3kg, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640mmHg durante 2h. (b) Ensaio EQ7, queijo prensado com prensa de 5kg, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640mmHg durante 2h. (c) Ensaio EQ8, queijo prensado com prensa de 7kg, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640mmHg durante 2h.	41
Figura 4.4 - (a) Ensaio EQ9, queijo impregnado logo após a etapa de prensagem, utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (b) Ensaio EQ10, queijo impregnado após 24h da etapa de prensagem, utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (c) Ensaio EQ11, queijo impregnado após 48 h da etapa de prensagem, utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h.	42
Figura 4.5 - (a) Ensaio EQ12, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (b) Ensaio EQ13, impregnação utilizando vácuo contínuo de 640 mmHg durante 2h.	43
Figura 4.6 - (a) Ensaio EQ14, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (b) Ensaio EQ15, salga a pressão atmosférica durante 2h.	44

- Figura 4.7 – (a) Ensaio EF1, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660 mmHg durante 12 min, utilizando solução de água e azul de metileno. (b) Ensaio EF3, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660 mmHg durante 33min, utilizando solução de água e azul de metileno. (c) Ensaio EF5, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660 mmHg durante 60min, utilizando solução de água e azul de metileno. (d) Ensaio EF7, impregnação no abacaxi aplicando vácuo intermitente de 660 mmHg durante 120min, utilizando solução de água e azul de metileno. 46
- Figura 4.8 - (a) Ensaio EF2, difusão da solução de água e azul de metileno à pressão atmosférica, durante 12 minutos. (b) Ensaio EF4, difusão da solução de água e azul de metileno à pressão atmosférica, durante 33 minutos. (c) Ensaio EF6, difusão da solução de água e azul de metileno à pressão atmosférica, durante 60 minutos. 47
- Figura 4.9 - (a) Ensaio EF8, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660mmHg durante 33 minutos, utilizando solução de sacarose a 10% e azul de metileno. (b) Ensaio EF9, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660mmHg durante 60 minutos, utilizando solução de sacarose a 10% e azul de metileno. 48
- Figura 4.10 - Ensaio EF10, difusão da solução de sacarose a 10% e azul de metileno à pressão atmosférica, durante 60 minutos. 49
- Figura 4.11 - (a) Ensaio EF11, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660mmHg durante 60 minutos, utilizando solução de sacarose a 39% e azul de metileno. (b) Ensaio EF13, impregnação na maçã aplicando vácuo intermitente de 660mmHg durante 120 minutos, utilizando solução de sacarose a 39% e azul de metileno. 50
- Figura 4.12 - Ensaio EF12, difusão da solução de sacarose a 39% e azul de metileno à pressão atmosférica, durante 60 minutos. 50
- Figura 4.13 - Variação percentual da massa do queijo minas frescal entre a etapa de prensagem e a salga para tempos distintos de salga. 52
- Figura 4.14 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP1, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 2 horas. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga . 55
- Figura 4.15 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP2, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 30 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga . 56
- Figura 4.16 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP3A, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 20 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga . 57

- Figura 4.17 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP3B, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 20 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga. 58
- Figura 4.18 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP4A, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 0h após a etapa de salga. 59
- Figura 4.19 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP4B, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga. 60
- Figura 4.20 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP4C, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 7 dias após a etapa de salga. 61
- Figura 4.21- Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EPSV, a salga foi realizada durante 6h a pressão atmosférica e as análises de concentração de NaCl ocorreram 24h após a etapa de salga. 63
- Figura 4.22 - Comparação dos perfis de concentrações de NaCl nos queijos minas frescal, obtidas através de condições distintas do processo de salga. As análises destes queijos foram realizadas 24h após a etapa de salga. 64
- Figura 4.23 - Comparação entre as concentrações médias de NaCl nos queijos minas frescal, obtidas através de condições distintas do processo de salga. As análises destes queijos foram realizadas 24h após a etapa de salga. 65
- Figura 4.24 - Comparação entre as concentrações médias de NaCl nos queijos minas frescal, obtidas a partir do processo de salga realizado durante 15 min aplicando-se vácuo de forma intermite . As análises quantitativas destes queijos foram realizadas 0h, 24h e 7 dias após a etapa de salga. 66

### Lista de Tabelas

Tabela 3.1- Ensaio utilizando queijo minas frescal e corante.	30
Tabela 3.2 – Ensaio com maçãs Fuji e abacaxis Pérola, utilizando corante.	31
Tabela 3.3- Ensaio utilizando queijo minas frescal e salmoura.	32
Tabela 4.1- Variação percentual da massa do queijo minas frescal entre a etapa de prensagem e a salga.	52
Tabela 4.2 - Valores de X determinados experimentalmente e através do Modelo Hidrodinâmico (HDM).	53
Tabela 4.3 – Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP1, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 2 horas. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga .	55
Tabela 4.4 – Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP2, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 30 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga.	56
Tabela 4.5 – Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP3A, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 20 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga.	57
Tabela 4.6 – Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP3B, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 20 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga.	58
Tabela 4.7 – Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP4A, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 0h após a etapa de salga.	59
Tabela 4.8 – Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP4B, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga.	60
Tabela 4.9 – Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP4C, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 7 dias após a etapa de salga.	61
Tabela 4.10 – Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EPSV, a salga foi realizada durante 6h a pressão atmosférica e as análises de concentração de NaCl ocorreram 24h após a etapa de salga.	62

### Lista de Símbolos

$\sigma$	tensão superficial
$\mu$	viscosidade
$\gamma$	deformação por unidade de volume
$\varepsilon_e$	porosidade efetiva
$v_{gj}$	volume de gás contido no interior dos poros
$\gamma_j$	deformação por unidade de volume
$\Delta p$	incremento de pressão ou força impulsora
$D$	diâmetro
$h$	altura do queijo
$p_1$	pressão de vácuo
$p_2$	pressão do sistema
$p_c$	pressão capilar
$p_e$	pressão exterior
$p_i$	pressão interior do gás
$p_{i0}$	valor inicial da pressão do gás
$p_r$	pressão capilar reduzida
$r_j$	relação de compressão real
$R_j$	relação de compressão aparente
$t_j$	tempo
$V$	volume do queijo
$V_0$	volume inicial da amostra
$V_{g0}$	volume total de gás ( $t = 0$ )
$x$	fração volumétrica de líquido transferido ao total da amostra pelo HDM
$X$	penetração por unidade de volume
$x_v$	profundidade de penetração do líquido nos poros em função do volume de poros que foram ocupados pelo líquido
$X_v$	penetração total de líquido pelo HDM
$X_{vj}$	penetração do líquido pelo HDM

$X_c$	deformação da matriz sólida
$X_j$	penetração por unidade de volume
$X_{cj}$	aumento do volume de gás no interior dos poros como consequência da deformação (DRP)
$z$	comprimento

Sendo  $j = 0, 1, 2$

## 1. INTRODUÇÃO

Os alimentos, em sua grande maioria, são porosos. As características do espaço poroso, a porosidade, a forma predominante e a conectividade interporos possuem um papel decisivo nos fenômenos de transferência de calor e de massa nesses alimentos durante o processamento.

Na indústria de alimentos, o fenômeno de transferência de massa, está presente em várias etapas do processo. Na desidratação osmótica, ocorrem dois fluxos simultâneos em contracorrente: a saída da água da matriz do alimento sólido e a entrada da solução desejada no produto (SALVATORI, ANDRÉS, CHIRALT, *et al.*, 1999). A etapa da salga de queijos e a desidratação osmótica de frutas são processos difusivos, que requerem um longo tempo de contato entre as fases líquida e sólida. (GUAMIS, TRUJILLO, FERRAGUT, *et al.*, 1997; SHI & FITO, 1994).

O queijo minas é um queijo desenvolvido no Brasil e teve sua origem nas fabricações caseiras difundidas no Estado de Minas Gerais. O queijo tipo minas é um queijo de massa crua e pode ser comercializado logo após a etapa de salga sob a forma frescal (FURTADO, 1991). Observam-se grandes variações nas características do queijo minas frescal, devido à diversidade dos processos de fabricação utilizados, mas uma notável e importante característica é a porosidade presente neste tipo de queijo. A etapa de salga do queijo minas frescal nas indústrias de alimentos é realizada por imersão em salmoura durante algumas horas.

Nos últimos anos, muitos trabalhos têm apresentado a aplicação de vácuo no processo de salga nos queijos tipo Manchego (GUAMIS, TRUJILLO, FERRAGUT, *et al.*, 1997; GONZALEZ, FUENTES, ANDRÉS, *et al.*, 1999; PAVIA, GUAMIS, TRUJILLO, *et al.*, 1999; GONZÁLEZ-MARTINEZ, CHAFER, FITO, *et al.*, 2002) e em processos de desidratação osmótica (SHI & FITO, 1994; SHI, FITO & CHIRALT, 1995), como alternativa para diminuir o tempo de contato necessário entre as fases líquida e sólida. Assim, a impregnação a vácuo tem sido aplicada como uma alternativa aos processos osmótico-difusivos. Esse processo consiste em promover o contato entre um alimento sólido e uma solução contendo um soluto de interesse, promovendo-se a diminuição da pressão do sistema, para retirar parte do ar presente no interior dos poros do alimento. Com a recuperação da pressão do sistema, o líquido que está em contato com o alimento sólido penetra no interior dos poros devido aos gradientes macroscópicos de pressão e devido à capilaridade. Em alimentos com características plásticas, os fenômenos de



deformação e de relaxação da estrutura sólida também influenciam significativamente o processo de troca de matéria entre o alimento sólido e a solução na qual o mesmo está imerso.

Considerando a estrutura porosa dos alimentos e a presença de ar no seu interior, Fito & Pastor (FITO & PASTOR, 1994) propuseram um modelo físico para descrever o processo de impregnação a vácuo de um meio poroso, o qual denominaram de Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) (FITO, 1994; ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995; FITO, ANDRÉS, CHIRALT, *et al.*, 1996), diferenciando do mecanismo difusivo que predomina na desidratação osmótica de alimentos.

A impregnação a vácuo tem sido aplicada como uma alternativa aos processos que envolvem difusão. As bases teóricas do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) consideram uma relação direta entre a microestrutura do alimento e os fenômenos de impregnação da matéria, em condições de vácuo. O problema é que a estrutura dos alimentos nem sempre é conhecida, assim como as propriedades físicas da mesma, como a conectividade da rede de poros, por exemplo.

O objetivo deste trabalho foi o de estudar o comportamento do queijo minas frescal durante a impregnação a vácuo, visto que este queijo é bastante consumido no Brasil e seu processo de salga, por imersão, precisa ser otimizado. A impregnação a vácuo de soluções de sacarose em frutas também foi estudada. As frutas utilizadas neste estudo foram a maçã Fuji e o abacaxi Pérola.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo está estruturado em tópicos. No primeiro tópico, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a produção tradicional do queijo minas frescal, dando ênfase à etapa de salga, que é um processo lento e requer baixas temperaturas para garantir a segurança microbiológica do produto final. Posteriormente, relatam-se os estudos realizados com queijos utilizando o vácuo no processo de salga.

A terceira parte deste capítulo descreve os estudos envolvendo a desidratação osmótica em frutas. E, no último tópico, é apresentado o Mecanismo Hidrodinâmico (FITO & PASTOR, 1994) e os Fenômenos de Deformação - Relaxação (DRP) que ocorrem na matriz sólida durante a aplicação de vácuo (FITO, 1994; ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995; FITO, ANDRÉS, CHIRALT, *et al.* 1996).

### 2.1. Queijo Minas Frescal

O queijo minas é um queijo desenvolvido no Brasil e teve sua origem nas fabricações caseiras difundidas no Estado de Minas Gerais. O queijo tipo minas é um queijo de massa crua e pode ser comercializado logo após a etapa de salga sob a forma frescal. Observa-se grande variabilidade nas características do queijo minas frescal, devido à diversidade dos processos de fabricação utilizados. Este tipo de queijo caracteriza-se por ser um queijo branco, com alto teor de umidade, poroso, com sabor ligeiramente ácido e com uma concentração de sal em torno de 1,6% (FURTADO, 1991).

O queijo minas frescal, produzido artesanalmente ou industrialmente, tem um processamento simples, e é um dos queijos mais consumidos no Brasil. É um queijo branco fresco, ligeiramente salgado, com um sabor levemente ácido, tendo a composição e a qualidade variando extensamente (FURTADO & LORENÇO NETO, 1994).

O processo de fabricação do queijo minas frescal pode ser dividido em oito etapas. Inicialmente procede-se a *escolha e o tratamento da matéria prima*, que consiste em utilizar um leite com teor de gordura padronizado entre 3 a 4%. Posteriormente pasteuriza-se o leite, visando garantir a segurança higiênico-sanitária. Após a pasteurização, inicia-se a etapa de *coagulação*, onde é adicionado cultura ou fermento láctico selecionado, constituído de estreptococos

produtores de acidez (*Streptococcus lactis* e/ou *Streptococcus cremoris*) e coalho, ao leite aquecido a temperaturas entre 32 a 35°C. Antes da adição de coalho, é comum adicionar cloreto de cálcio, para garantir uma coagulação eficaz.

O *tratamento da massa* pode ser realizado após 45 minutos da etapa de coagulação, quando a massa atingir o ponto de corte. O ponto de corte é dado quando o coágulo se rompe em fenda retilínea, no caso do queijo minas em cubos de 1,0 a 1,5 cm de aresta. Promovem-se períodos de agitação e repouso, visando realizar o processo de dessora, até atingir o ponto de massa. O ponto de massa não é padronizado, resultando numa maior ou menor dessora, o que leva a obtenção de um queijo mais ou menos úmido. Ao se atingir o ponto de massa, remove-se o soro e procede-se a *enformagem*, utilizando-se formas próprias, devidamente higienizadas. A etapa de *prensagem* é realizada nas formas e visa remover parte do soro e compactar a massa do queijo. O peso da prensa utilizada varia de acordo com o peso do queijo (geralmente entre 10 a 15 vezes o peso do queijo). O tempo total da etapa de prensagem é de aproximadamente uma hora, e durante este período é promovida a viragem do queijo.

O queijo minas pode ser salgado diretamente na massa, adicionando-se sal antes da etapa de enformagem; através de salga seca, empregando-se uma fina camada de sal na superfície do queijo; e por meio da *salga* úmida ou por salmoura, que é a mais empregada nas indústrias brasileiras e é realizada, tradicionalmente, em tanques de salmoura, onde os queijos são mergulhados logo após a prensagem. A concentração de sal recomendada para salmoura situa-se entre 18-22%. O tempo de salga é determinado em função das características do queijo em questão tais como o teor de umidade, o tamanho, e o teor de sal desejado no produto final. A salga deve ser realizada em ambiente controlado, com temperaturas entre 10 a 15°C. Após a etapa de salga o queijo minas frescal já pode ser *embalado*. O queijo minas frescal deve ser *armazenado e comercializado*, sob condições adequadas de refrigeração, ou seja, temperaturas de 0 a 5°C; apresentando uma vida útil muito curta, de aproximadamente duas semanas. (OLIVEIRA, 1987; SCOTT, 1991; FURTADO, 1991)

A figura 2.1 apresenta o fluxograma do processo de produção do queijo minas frescal.

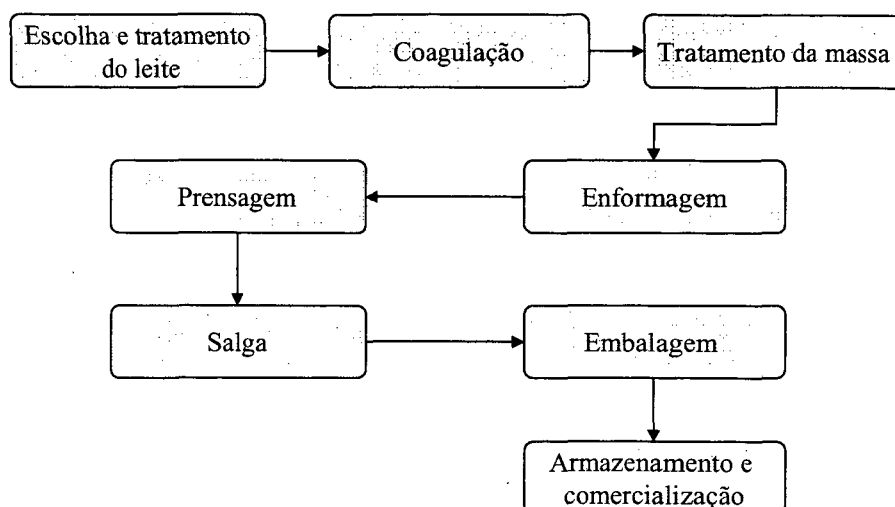


Figura 2.1 – Fluxograma genérico de produção do queijo minas frescal.

A salga reduz a atividade de água ( $a_w$ ) dos alimentos (MARCOS, ALCALÁ, LEÓN, *et al.*, 1981), melhorando a sua estabilidade química, microbiana e bioquímica e contribui para a aprimorar o sabor do produto final (CHIRALT, FITO, BARAT, *et al.*, 2001).

Os processos de salga de queijos são geralmente lentos, requerem horas ou dias, devido aos baixos valores do coeficiente de difusividade do sal, para as baixas temperaturas requeridas para garantir a segurança do produto final. Isto implica em um grande investimento financeiro e desperdício de sal, quando se promove a renovação de grandes quantidades de salmoura (GONZÁLEZ-MARTINEZ, CHAFER, FITO, *et al.*, 2002). Além disso as soluções salinas possuem grande potencial iônico, sendo poluentes.

Durante o processo de salga, dois fluxos importantes ocorrem no queijo: a entrada de cloreto de sódio e outros compostos e a perda de água e de alguns sólidos solúveis presentes no interior do queijo.

Diversos autores estudaram a etapa de salga de queijos, modelando o processo difusivo e determinando os gradientes de concentração de sal no interior dos queijos, comprovando que esta etapa é lenta e limitante do processo (ZORRILLA & RUBIOLO, 1991; TURHAN & KALETUNÇ, 1992; ZORRILLA & RUBIOLO, 1994; SILVA, BORSATO & SILVA, 1998; PAYE & MORISON, 1999; SIMAL, SÁNCHEZ, BON, *et al.*, 2001). Num processo difusivo de salga de queijos, o valor do coeficiente de difusão do sal no queijo varia entre  $1,4$  a  $3,1 \times 10^{-10}$   $m^2/s$  (PAVIA, GUAMIS, TRUJILLO, *et al.*, 1999).

## 2.2. Impregnação a Vácuo no Queijo Minas Frescal

Recentemente, vários estudos têm relatado que a aplicação de vácuo promove uma redução no tempo de salga em queijos tipo Manchego (GUAMIS, TRUJILLO, FERRAGUT, *et al.*, 1997; GONZALEZ, FUENTES, ANDRÉS, *et al.*, 1999; PAVIA, GUAMIS, TRUJILLO, *et al.*, 1999; PAVIA, TRUJILLO, GUAMIS *et al.*, 2000; GONZÁLEZ-MARTINEZ, CHÁFER, FITO, *et al.*, 2002), tipo Gouda (MESSENS, DEWETTINCK & HUYGHEBAERT, 1999) e em outros alimentos (FITO, CHIRALT, BETORET, *et al.*, 2001; CHÁFER, GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, CHIRALT, *et al.*, 2002; GRAS, VIDAL-BROTÓNS, BETORET *et al.*, 2002), promovendo uma distribuição de sal mais uniforme no produto.

Na salga a vácuo, a entrada de sal é acelerada pela combinação do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) e pelos fenômenos difusivos promovidos pelas diferenças de concentrações do produto. O Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) é causado pela ação de gradientes de pressão macroscópicos promovidos pelo vácuo e pelo efeito da capilaridade (FITO, 1994; ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995; FITO, ANDRÉS, CHIRALT, *et al.*, 1996). Quando estes gradientes são provocados através da aplicação de vácuo, numa primeira etapa do processo, ocorre a saída de gás ou do líquido presente no interior do sólido e, posteriormente, sua substituição pelo líquido externo, melhorando assim o ganho do soluto externo (NaCl).

Os gradientes de pressão impostos ao sistema durante a operação de impregnação a vácuo podem ocasionar os fenômenos de relaxação-deformação na estrutura porosa do alimento. O percentual de deformação da matriz sólida e a quantidade de material impregnado dependerão essencialmente da estrutura do material, de suas propriedades mecânicas e, naturalmente, das condições de trabalho. A microestrutura do alimento, a porosidade, o tamanho, a distribuição e comunicação dos poros afetam a cinética do Mecanismo Hidrodinâmico (ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995; PAVIA, GUAMIS, TRUJILLO, *et al.*, 1999).

Nos queijos tipo Manchego a fração volumétrica impregnada foi da ordem de 5%, tendo a operação de impregnação a vácuo permitido uma salga com percentuais normais de sal, em um tempo menor de processo (4h) do que a salga por imersão (36h) (ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995).

Os queijos tipo Manchego salgados a vácuo são menos fraturados, mais coesos e elásticos do que queijos salgados de forma convencional e sua textura praticamente não se altera durante o processo de cura (PAVIA, GUAMIS, TRUJILLO, *et al.*, 1999).

A salga utilizando o processo de impregnação a vácuo pode apresentar diferenças em alguns índices de maturação e parâmetros de qualidade dos queijos, se comparado ao processo de salga por imersão em salmoura; porém, estas diferenças na qualidade do produto final são pequenas. Por esta razão, e dadas as vantagens de redução do tempo de salga e, em alguns casos, o aumento da segurança higiênico-sanitária e dos aspectos benéficos de qualidade do produto final, considera-se de grande interesse a aplicação desta tecnologia em queijos porosos (ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995; CHIRALT, FITO, BARAT, *et al.*, 2001).

### 2.3. Desidratação Osmótica Aplicada a Frutas

Durante as últimas décadas, muitos estudos de novas tecnologias têm melhorado a qualidade das frutas processadas, substituindo o empirismo de processos empregados nas indústrias. A desidratação osmótica é reconhecida como um método de processamento com a qual se obtém produtos manufaturados de frutas de alta qualidade (SHI & FITO, 1994).

Os tratamentos osmóticos geralmente são aplicados para modificar a composição do alimento, removendo-se a água e incorporando uma solução hipertônica no interior do alimento, sem afetar a integridade do produto (SACCHETTI, GIANOTTI & ROSA, 2001).

O processo de desidratação osmótica baseia-se na imersão de uma matriz sólida numa solução hipertônica de açúcar e sal (ROSA & GIROUX, 2001), visando a redução da atividade de água ( $a_w$ ) e, conseqüentemente, reduzindo o crescimento microbiano. Em conseqüência dos gradientes de concentração, ocorrem dois fluxos principais em contra-corrente: um fluxo de água da fruta para a solução, e de soluto no sentido oposto (AZEREDO & JARDINE, 2000). No processo osmótico, a estrutura da superfície celular atua como uma membrana semi-permeável efetiva (SHI & FITO, 1994).

A quantidade e a taxa de água transferida do tecido da fruta durante o processo de desidratação osmótica depende de muitas variáveis, tais como a concentração do soluto, a composição química da solução osmótica, a temperatura da solução, a natureza das frutas, sua geometria, o tempo de contato e a agitação da solução. Muitos métodos têm sido empregados

para que a velocidade de transferência de água aumente, utilizando altas concentrações de solução osmótica, alta temperatura da solução, tempo de tratamento prolongado, etc. Porém, a intensificação do processo pelo incremento de temperatura e pelo aumento dos gradientes de concentração é limitado. Altas temperaturas e longos tempos de tratamento têm prejudicado a qualidade frutas, alterando fatores como o sabor, cor e textura (SHI & FITO, 1994; SHI, FITO & CHIRALT, 1995).

Alguns estudos têm apresentado a impregnação a vácuo como uma alternativa para otimizar o processo de desidratação osmótica de frutas (SHI & FITO, 1993; FITO, CHIRALT, BARAT, *et al.*, 2001, GIRALDO, TALENS, FITO, *et al.*, 2003). Na desidratação osmótica utilizando vácuo é possível operar com baixas temperaturas e altas taxas de transferência de solução, preservando a qualidade do produto final (SHI, FITO & CHIRALT, 1995).

A concentração da solução osmótica e a viscosidade geralmente afetam a resposta do produto frente aos mecanismos de impregnação a vácuo e a cinética de osmodesidratação, assim como taxa final de perda de água – ganho de açúcar do produto (BARRAT, FITO & CHIRALT, 2001; GIRALDO, TALENS, FITO, *et al.*, 2003).

Na desidratação osmótica de frutas, a microestrutura, a porosidade, o tamanho, a distribuição e comunicação dos poros, também afetam a cinética do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM). Frutas com alta porosidade são mais sucessíveis ao tratamento a vácuo (SHI, FITO & CHIRALT, 1995) e longos tempos de impregnação a vácuo podem ocasionar deformações nos tecidos das frutas (MÚJICA-PAZ, VALDEZ-FRAGOSO, LÓPEZ-MALO, *et al.*, 2003).

No processo de desidratação a vácuo, a taxa total de água transferida é o resultado da combinação da difusão fickiana tradicional e do fluxo promovido pelos gradientes de pressão (SHI & FITO, 1993).

## 2.4. Impregnação a Vácuo em Alimentos Porosos

Diversos trabalhos têm apresentando o Mecanismo Hidrodinâmico como uma teoria para explicar a impregnação de alimentos porosos com soluções contendo um soluto de interesse (FITO, CHIRALT, BETORET, *et al.*, 2001; GRAS, VIDAL-BROTÓNS, BETORET, *et al.*, 2002; CHÁFER, GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, CHIRALT, *et al.*, 2003). Neste tópico, apresenta-se a modelagem matemática do Mecanismo Hidrodinâmico e do acoplamento do HDM com os Fenômenos de Deformação – Relaxação (DRP).

### 2.4.1. Mecanismo Hidrodinâmico

Considerando a estrutura porosa de alguns alimentos e a existência de gás no interior destes poros, Fito & Pastor (1994) propuseram uma teoria para explicar a impregnação a vácuo de alimentos, denominada Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) (FITO, 1994). Esse consiste em promover variações de pressão no sistema, fazendo com que ocorra impregnação de solução na matriz através da geração de gradientes de pressão macroscópicos e dos mecanismos de capilaridade e difusão, reduzindo o tempo do processo de transferência de massa. Ao submeter o produto, imerso numa solução, a pressões sub-atmosféricas, primeiramente este gás sofre uma expansão para atingir um equilíbrio com a pressão imposta ao sistema promovendo uma desgaseificação da estrutura porosa do alimento, e na seqüência ocorre uma penetração do líquido nos poros do meio, visando restaurar este equilíbrio de pressões do sistema. Com a restauração da pressão atmosférica, irá ocorrer um novo gradiente de pressões que tende a atuar como a força motriz que promoverá o preenchimento dos espaços intercelulares com a solução em questão. A quantidade de líquido impregnado na estrutura na estrutura porosa dependerá do nível de desgaseificação e da pressão de trabalho (ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995).



2.4.1.1. Bases Teóricas do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) (ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995)

Considerando um espaço intercelular ou poro, esquematizado pela Figura 2.2, como um cilindro de seção constante, cujo diâmetro e comprimento são  $D$  e  $z$ , respectivamente, preenchidos por gases. Supondo que o sólido encontra-se submerso num líquido, a pressão interior do gás será  $p_i$  e a pressão exterior será  $p_e$ . Esta última será igual à pressão do sistema,  $p_2$ , mais a pressão capilar,  $p_c$ , a qual pode ser calculada mediante a equação de Young-Laplace:

$$p_c = \frac{4\sigma}{D} \quad (2.1)$$

onde  $\sigma$ , é a tensão superficial do líquido.

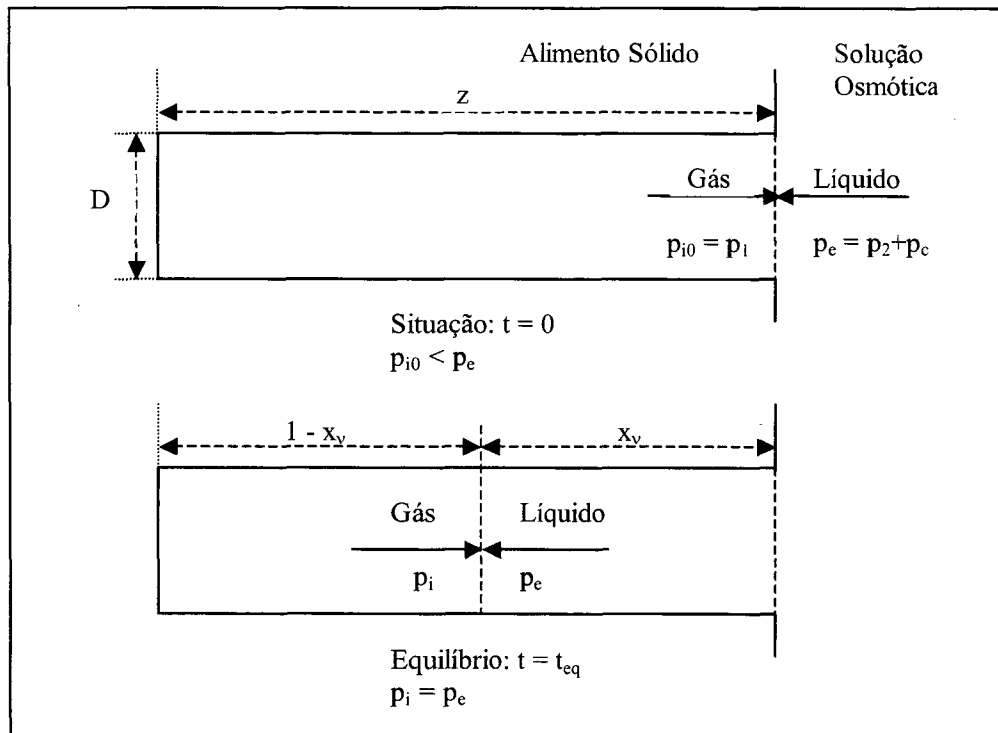


Figura 2.2 - Esquema de atuação do HDM em um poro ideal.

De forma simplificada, a penetração do líquido nos poros ocorre devido ao gradiente de pressões, que pode ser calculado pela equação de Poisselle:

$$-\Delta p + \frac{32\mu z^2}{D^2} x_v \frac{dx_v}{dt} = 0 \quad (2.2)$$

onde  $\mu$  é a viscosidade do líquido e  $x_v$  é a profundidade de penetração do líquido nos poros em função do volume de poros que foram ocupados pelo líquido. O incremento de pressão ou força impulsora diminuirá como consequência do aumento de  $p_i$ , ao comprimir-se o gás. Assumindo uma compressão isotérmica, tem-se a seguinte equação:

$$-\Delta p = p_e - \frac{p_{i0}}{(1 - x_v)} \quad (2.3)$$

onde  $p_{i0}$  é o valor inicial da pressão do gás.

Das equações (2.2) e (2.3), tem-se:

$$p_e - \frac{p_{i0}}{(1 - x_v)} + \frac{32\mu z^2}{D^2} x_v \frac{dx_v}{dt} = 0 \quad (2.4)$$

A condição de equilíbrio será alcançada quando as pressões  $p_e$  e  $p_i$  forem iguais. Nesse instante, o menisco se estabiliza e tem-se:

$$\frac{dx_v}{dt} = 0 \quad (2.5)$$

Das equações (2.4) e (2.5), o valor de  $x_v$  pode ser expresso como:

$$x_v = \frac{(p_e - p_{i0})}{p_e} \quad (2.6)$$

Considerando que

$$p_e = p_2 + p_c \quad (2.7)$$

e

$$p_{i0} = p_1 \quad (2.8)$$

e substituindo (2.7) e (2.8) em (2.6), pode-se explicitar  $x_v$  como:

$$x_v = \frac{(p_2 + p_c - p_1)}{(p_2 + p_c)} \quad (2.9)$$

Quando não existirem gradientes impostos ao sistema,  $p_1 = p_2$ , e a única força motriz será a pressão capilar,  $p_c$ . Neste caso:

$$x_v = \frac{p_c}{(p_2 + p_c)} \quad (2.10)$$

A equação (2.9) pode ser escrita de forma mais simplificada, ou seja:

$$x_v = 1 - \frac{1}{r} \quad (2.11)$$

onde  $r$  é a relação de compressão real, dada por:

$$r = \frac{(p_2 + p_c)}{p_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right) + \left( \frac{p_c}{p_1} \right) \quad (2.12)$$

onde  $R = \frac{p_2}{p_1}$  e  $p_r = \frac{p_c}{p_1}$  podem ser definidas como a relação de compressão aparente e a de pressão capilar reduzida, respectivamente, e deste modo:

$$r = R + p_r \quad (2.13)$$

Em muitos casos  $p_r$  é muito menor que  $R$ , então se pode assumir que  $r = R$ .

Uma vez conhecido o valor médio da profundidade de penetração do líquido ( $x_v$ ), os cálculos podem ser estendidos ao volume total do alimento, multiplicando este valor, pela porosidade efetiva ( $\epsilon_e$ ), definida como a fração volumétrica total da amostra ocupada pelo gás. A fração volumétrica de líquido transferido ao total da amostra pelo HDM, supondo que todos os poros foram preenchidos pelo líquido será então:

$$x = \epsilon_e x_v \quad (2.14)$$

Na figura 2.3 estão representados os valores de  $x_v$  calculados segundo a equação (2.11), em função de  $R$  e  $p_r$ . A curva correspondente a  $R = 1$  descreve somente o efeito da capilaridade, quando não se submete o sistema a gradientes de pressão. Observa-se que os valores de  $x_v$  diminuem à medida que  $p_r$  diminui. Todavia, quando  $p_r$  aumenta (por exemplo, quando se trabalha com baixas pressões) o valor de  $x_v$  aumenta consideravelmente. Este aumento é muito significativo, quando se impõe um gradiente externo de pressão ( $R > 1$ ), como pode ser observado na figura 2.3.

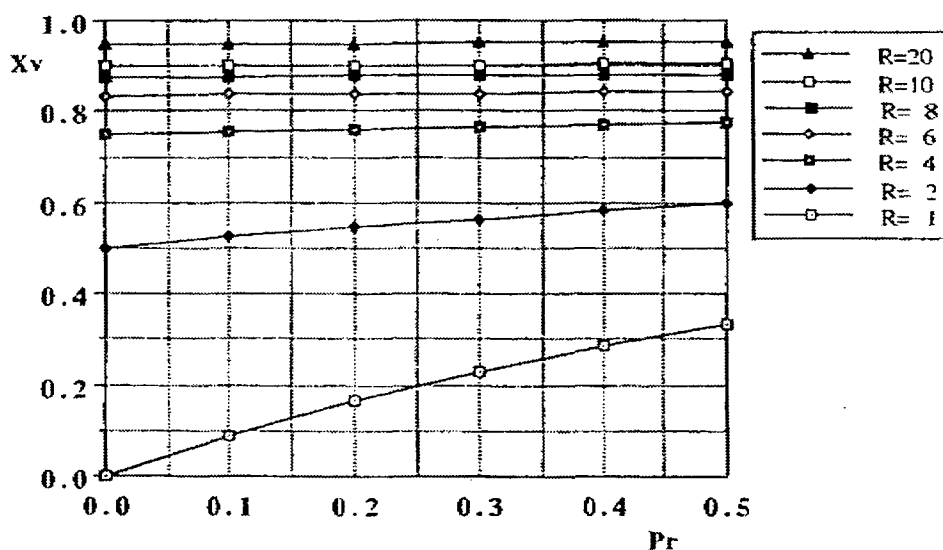


Figura 2.3 - Valores de  $x_v$  segundo a equação (2.11), para diferentes valores de  $p_r$  e  $R$ .

As curvas da figura 2.3 explicam porque as cinéticas de transferência de matéria são mais rápidas quando se trabalha sob condições de vácuo. O transporte global de massa é muito mais eficaz quando se trabalha com a impregnação a vácuo, pois os mecanismos difusional e osmótico, que intervêm na operação, são facilitados por disporem de uma superfície de transferência de matéria muito maior, pois eles aproveitam não somente a superfície externa do alimento, mas também a superfície interna dos poros impregnados pelo Mecanismo Hidrodinâmico (HDM).

#### ***2.4.2. Acoplamento do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) com os Fenômenos de Deformação – Relaxação (DRP)***

As análises de muitos resultados obtidos para experimentos de desidratação osmótica mostram que o Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) ocorre simultaneamente aos Fenômenos de Deformação – Relaxação (DRP). Neste caso é assumido o acoplamento destes dois fenômenos. O HDM e o DRP afetam a cinética e a situação de equilíbrio final do sistema (FITO, ANDRÉS, CHIRALT, *et al.*, 1996). As atuações do HDM e do DRP, estão intimamente relacionadas com a microestrutura dos alimentos e com suas propriedades mecânicas, sendo que ambos os fenômenos podem provocar variações significativas na eficiência da impregnação (ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995).

##### ***2.4.2.1. Modelo Matemático do Acoplamento do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) e dos Fenômenos de Deformação – Relaxação (DRP)*** (ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995; FITO, ANDRÉS, CHIRALT, *et al.*, 1996)

A figura 2.4 representa esquematicamente um poro cilíndrico ideal de diâmetro constante, de um alimento sólido poroso, submerso em um líquido.

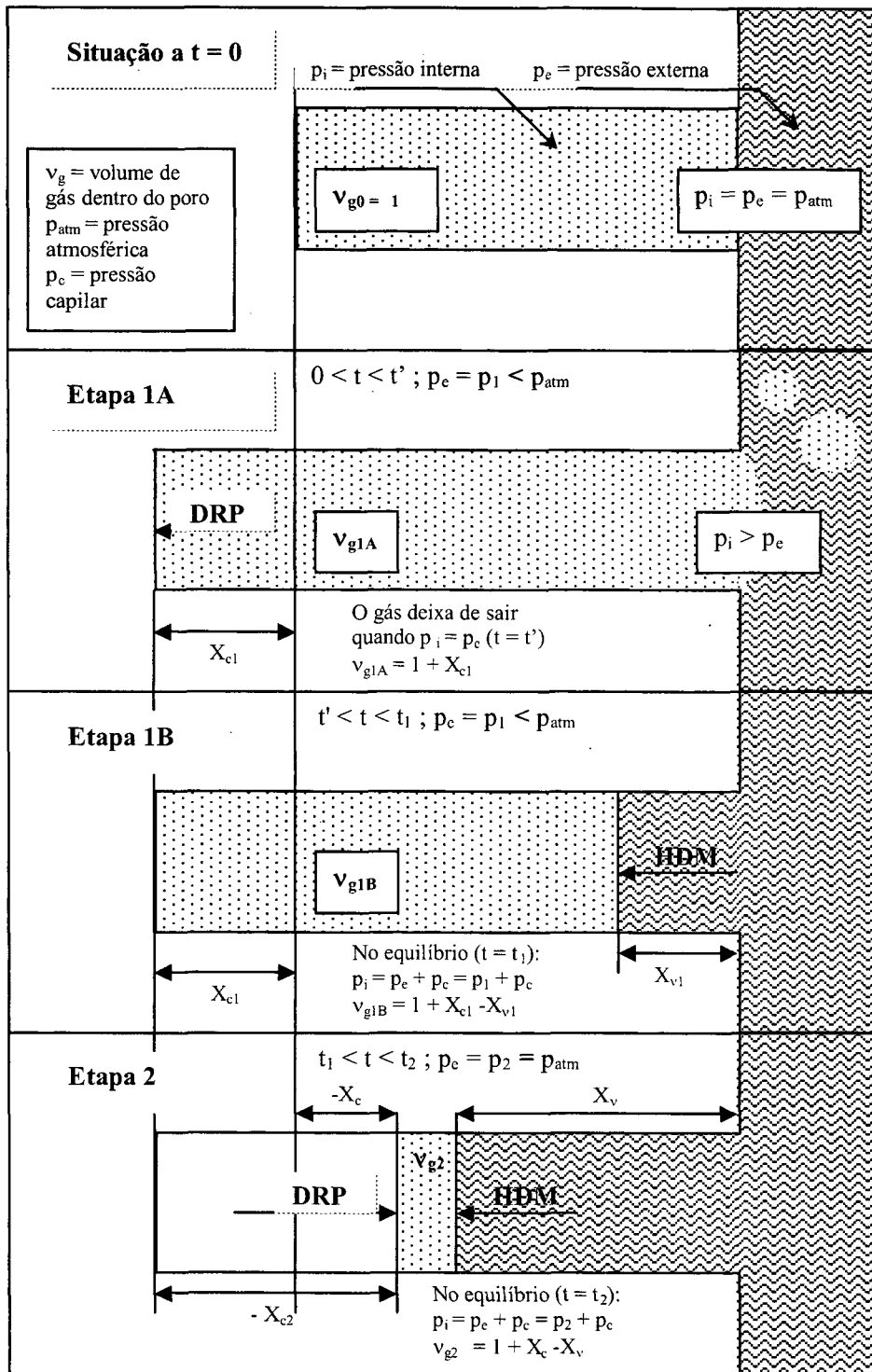


Figura 2.4 - Sistema sólido-líquido: evolução da Relaxação-Deformação e HDM num poro ideal.

O volume de gás contido no interior do poro quando  $t = 0$ , antes de qualquer interação sólido-líquido, é assumido ser igual a um, ou seja:

$$v_{g0} = 1 \quad (2.15)$$

A relação entre o volume total de gás numa amostra a  $t = 0$  e o volume inicial desta amostra se define como porosidade efetiva, e é representada pela equação a seguir:

$$\varepsilon_e = \frac{V_{g0}}{V_0} \quad (2.16)$$

Durante uma operação de Impregnação a Vácuo, o sistema é submetido a uma pressão subatmosférica (vácuo) ( $p_1$ ) durante um tempo  $t_1$  (figura 2.4). Essa situação provoca a expansão do gás contido no interior dos poros, uma saída parcial do mesmo e uma certa deformação da matriz sólida (etapa 1A na figura 2.4) aumentando o valor de  $v_g$ . Quando  $p_i$  se iguala à  $p_e$  ( $t = t'$ ), a saída de gás do interior destes poros é interrompida. Então, o volume de gás no interior dos poros aumenta  $X_{c1}$ , como consequência da deformação (DRP), alcançando um valor de:

$$v_{g1A} = 1 + X_{c1} \quad (2.17)$$

Pode-se assumir que neste momento ocorre o HDM e o líquido externo inicia a entrada no poro devido ao gradiente de pressão (etapa 1B na figura 2.4). O gás residual se comprime e uma nova situação de equilíbrio é alcançada quando  $p_i = p_1 + p_c$  ( $t = t_1$ ). Assume-se que não existe deformação na matriz sólida entre os tempos  $t'$  e  $t_1$ . No equilíbrio, o volume do gás diminui na mesma proporção em que ocorre a penetração do líquido pelo HDM ( $X_{v1}$ ):

$$v_{g1B} = 1 + X_{c1} - X_{v1} \quad (2.18)$$

Finalmente, quando se restaura a pressão atmosférica no sistema ( $p_e = p_2$ ), as forças devido a diferenças entre a pressão externa e interna podem produzir tanto deformações na matriz

sólida como impregnação pelo HDM (etapa 2 na figura 2.4). Da mesma forma que antes, qualquer variação no volume da amostra (devido a variações na pressão externa) se assume que é devido majoritariamente a variações no volume do gás interno. No equilíbrio  $t = t_2$ , a variação de volume e a penetração de líquido no poro durante a etapa 2 será  $X_{c2}$  e  $X_{v2}$  respectivamente.

A penetração total de líquido pelo HDM,  $X_v$ , e a deformação da matriz sólida,  $X_c$ , ao longo da operação de impregnação a vácuo podem ser calculadas como:

$$X_v = X_{v1} + X_{v2} \quad (2.19)$$

$$X_c = X_{c1} + X_{c2} \quad (2.20)$$

Os valores dos volumes do gás nos poros depois da etapa dois (figura 2.4), podem ser definidos como:

$$v_{g2} = 1 + X_c - X_v \quad (2.21)$$

O valor de qualquer variável, referida a um poro ideal, pode ser estendida ao total do volume da amostra multiplicado pela porosidade efetiva ( $\varepsilon_e$ ), define-se a penetração e a deformação por unidade de volume através das equações 2.22 e 2.23.

$$X = \varepsilon_e X_v \quad (2.22)$$

$$\gamma = \varepsilon_e X_c \quad (2.23)$$

onde,  $X_v$  é a penetração total de líquido e  $X_c$  é a deformação da matriz sólida.

Pode-se também definir a penetração e a deformação por unidade de volume de amostra mediante as equações (2.24) e (2.25):

$$X = X_1 + X_2 \quad (2.24)$$

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 \quad (2.25)$$



O fenômeno de deformação da matriz sólida, como resultado dos gradientes de pressão impostos ao sistema, supõe que este esteja sendo seguido de uma relaxação, devido ao comportamento viscoelástico da matriz. Parece evidente que o acoplamento de ambos os fenômenos, HDM e DRP, afetará notavelmente os valores de  $X$  e  $\gamma$ .

Quando, a variação de pressão ocorre no sistema sólido-líquido, e a situação de equilíbrio é alcançada. Assumindo uma compressão isotérmica do gás dentro do poro, tem-se:

$$\frac{v_{g_{j+1}}}{v_{g_j}} = \frac{p_{i_j}}{p_{i_{j+1}}} \quad (2.26)$$

Esta equação só tem aplicabilidade quando ocorrer a saída de gás entre  $t_j$  e  $t_{j+1}$ . Este critério pode também ser utilizado para determinar as relações entre  $X$ ,  $\gamma$  e as variáveis de operação em cada uma das etapas mostradas na figura 2.4. Assim:

a) Para  $t=t_1$  (etapa 1B), da equação (2.26):

$$\frac{v_{g1B}}{v_{g1A}} = \frac{p_1}{p_1 + p_c} = \frac{1}{r_1} = \frac{1 + X_{cl} - X_{vl}}{1 + X_c} \quad (2.27)$$

Isto implica que:

$$\frac{X_{vl}}{1 + X_{cl}} = 1 - \frac{1}{r_1} \quad (2.28)$$

Utilizando o valor de  $\varepsilon_0$ , tem-se que:

$$X_1 = (\varepsilon_c + \gamma_1) \left( 1 - \frac{1}{r_1} \right) \quad (2.29)$$

podendo ser definido o valor da porosidade eficaz  $\varepsilon_{el}$  em  $t = t'$ , ou seja:

$$\varepsilon_{e1} = \varepsilon_e + \gamma_1 \quad (2.30)$$

Assim a equação de equilíbrio para etapa 1 se escreve como:

$$X_1 - \gamma_1 = \varepsilon_e \left( 1 - \frac{1}{r_1} \right) - \frac{\gamma_1}{r_1} \quad (2.31)$$

b) De maneira similar, para a etapa 2 (figura 2.4), a equação (2.26) pode ser aplicada entre  $t = t'$  e  $t = t_2$ :

$$\frac{V_{g2}}{V_{g1A}} = \frac{P_1}{P_2 + P_c} = \frac{1}{r_2} = \frac{1 + X_c - X_v}{1 + X_{e1}} \quad (2.32)$$

e multiplicando por  $\varepsilon_e$ , se obtém:

$$X - \gamma = \varepsilon_e \left( 1 - \frac{1}{r_2} \right) - \frac{\gamma_1}{r_2} \quad (2.33)$$

Esta será a equação do equilíbrio para o HDM acoplado com DRP, válida para operações sólido-líquido a vácuo. Esta também pode ser utilizada para calcular os valores de  $\varepsilon_e$ , a partir dos valores experimentais de  $X$ ,  $\gamma$  e  $\gamma_1$ :

$$\varepsilon_e = \frac{(X - \gamma)r_2 + \gamma_1}{r_2 - 1} \quad (2.34)$$

A determinação experimental de  $\gamma_1$  não é muito fácil. Porém quando se trabalha com pressões relativamente baixas,  $r_2$  é muito grande, podendo-se assumir que:

$$(X - \gamma)r_2 \gg \gamma_1 \quad (2.35)$$

Então, como uma primeira aproximação, em muitos casos se pode aceitar que:

$$\varepsilon_e \cong \frac{X - \gamma}{\left(1 - \frac{1}{r_2}\right)} \quad (2.36)$$

Quando não ocorrem deformações, o valor de  $\gamma$  é igual a zero e as equações (2.31) e (2.33), se escrevem como:

$$X = \varepsilon_e \left(1 - \frac{1}{r_2}\right) \quad (2.37)$$

como foi proposto pelo HDM (FITO & PASTOR, 1994), sem considerar as deformações do produto.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais utilizados e a metodologia empregada nos ensaios de impregnação a vácuo e nos experimentos realizados a pressão atmosférica. Inicialmente descreve-se com detalhes, a metodologia empregada para a obtenção de queijo minas frescal, a preparação das frutas e as soluções utilizadas nos experimentos. A seguir, apresentam-se as metodologias experimentais utilizadas nos ensaios.

Os experimentos realizados neste trabalho foram estruturados em duas etapas. Na primeira etapa, foi realizado um estudo, visando evidenciar os diferentes aspectos da impregnação a vácuo, utilizando soluções coloridas em queijos e frutas. Na segunda, realizou-se o estudo da impregnação de sal em queijo minas frescal, utilizando apenas salmoura, realizou-se a determinação dos perfis de concentração de NaCl, através de análises físico-químicas.

#### 3.1. Materiais Utilizados

##### 3.1.1. Obtenção dos Queijos Minas Frescal

A produção do queijo minas frescal, em laboratório, foi realizada a partir de 3L de leite previamente pasteurizados e com teor de gordura padronizado entre 3,0 e 3,2% adquiridos em supermercados. O leite foi aquecido à temperatura de 35°C, quando se adicionou 1g de coalho previamente dissolvido em água morna (35°C), livre de cloro. A coalhada atingiu as condições de corte após 60 minutos de repouso. Para o corte da coalhada, foram utilizadas lâminas de aço inoxidável, com o corte sendo realizado de forma cruzada, obtendo-se cubos de aproximadamente 1 cm a 1,5 cm. Após essa etapa, procedeu-se a mistura da massa, utilizando uma colher vazada de aço inoxidável. Em seguida realizou-se a operação de dessoragem, onde se retirou grande parte do soro, facilitando a etapa de enformagem. A enformagem foi realizada em fôrmas próprias, devidamente higienizadas, o mais rapidamente possível, evitando o resfriamento da massa e eventuais problemas de compactação. As fôrmas com a massa foram levadas para um sistema de prensagem usando pesos de chumbo de 3, 5 ou 7kg, onde a massa foi prensada durante 30 minutos. A forma foi invertida para que se realizasse a prensagem do queijo por mais 30

minutos. Após a desenformagem, procederam-se os ensaios de impregnação a vácuo (salga a vácuo) e a salga a pressão atmosférica, conforme será descrito posteriormente.

### **3.1.2. Preparação das Amostras de Frutas**

As frutas utilizadas para o estudo comparativo entre os experimentos a vácuo e os experimentos à pressão atmosférica foram a maçã fugi e o abacaxi pérola, adquiridas no comércio de Florianópolis-SC-Brasil. As amostras foram previamente descascadas e cortadas, tendo sido a maçã cortada ao meio e o abacaxi cortado em rodela de aproximadamente três centímetros de espessura. Após a preparação das amostras, procederam-se os ensaios a vácuo e à pressão atmosférica, utilizando solução de sacarose colorida com azul de metileno.

### **3.1.3. Soluções Utilizadas nos Experimentos**

A solução utilizada para os experimentos com o queijo minas frescal foi uma salmoura a 22% em massa de NaCl, com adição ou não de azul de metileno. As soluções utilizadas para os experimentos com as frutas foram: água colorida com azul de metileno; solução de sacarose comercial a 10% em massa de sacarose, colorida com azul de metileno e solução de sacarose comercial a 39% em massa de sacarose, colorida com azul de metileno. Para a elaboração das soluções foram utilizados solutos comerciais. A concentração de azul de metileno, nos ensaios em que se empregou o corante, foi de 0,4g de corante /L de solução.

## **3.2. Experimentos de Impregnação**

### **3.2.1. Impregnação a Vácuo**

Na impregnação a vácuo utilizou-se uma câmara de vácuo (dessecador) acoplada a uma bomba de vácuo da marca Tecnal, modelo TE-058, cuja fotografia pode ser visualizada na figura 3.1. No interior da câmara, foi colocado um recipiente para receber as soluções e os alimentos a serem impregnados. O sistema contava ainda com uma tela de plástico, que foi colocada sobre os alimentos para impedir que os mesmos flutuassem durante os experimentos.

Os ensaios foram realizados colocando-se o material submerso na solução, fechando-se a câmara de vácuo e aplicando o vácuo previamente determinado de forma intermitente ou constante durante um período de tempo.

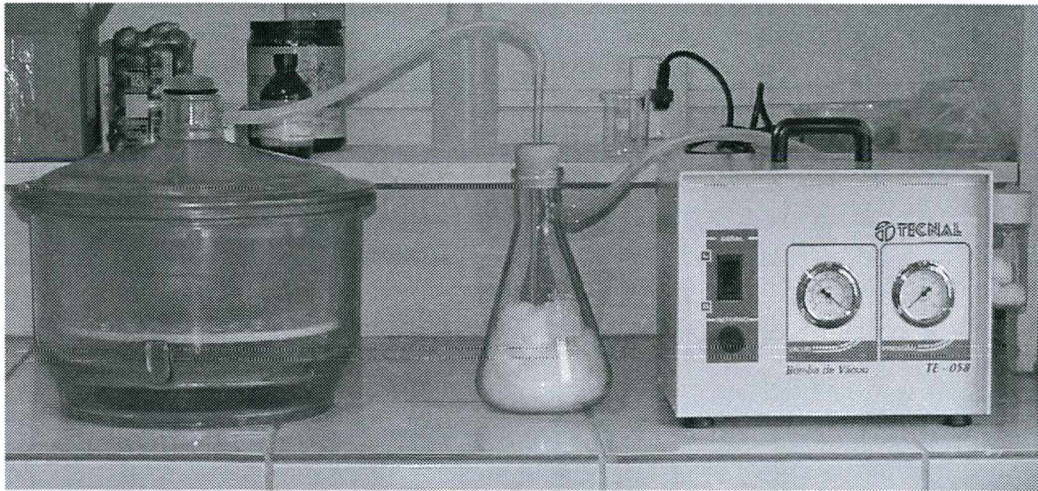


Figura 3.1 - Câmara de vácuo utilizada para realização dos ensaios de impregnação a vácuo.

### **3.2.2. Impregnação à Pressão Atmosférica**

Nos ensaios à pressão atmosférica, utilizou-se um recipiente para a solução e uma tela colocada sobre os alimentos. Os ensaios foram realizados imergindo-se a amostra na solução e deixando-a em contato com esta durante um determinado período de tempo.

### **3.3. Estudo Qualitativo: Ensaio com Queijos e Frutas Utilizando Soluções Coloridas**

#### **3.3.1. Ensaio com Queijo Minas Frescal**

Estes ensaios consistiram em colocar o queijo submerso em solução colorida de salmoura e aplicar ou não o vácuo, analisando as diversas variáveis do processo. Nos ensaios utilizando vácuo intermitente a matriz sólida foi submetida ao vácuo durante 25 min e nos 5 min seguintes a pressão atmosférica foi restaurada, repetiu-se esta seqüência até alcançar o tempo de impregnação desejado (1, 2 ou 3 horas).

Os ensaios realizados com queijo minas frescal estão relacionados na Tabela 3.1. As variáveis analisadas nestes ensaios foram: a intensidade do vácuo; o tempo de impregnação a vácuo; os diferentes níveis de prensagem do queijo; a idade do queijo; a influência dos mecanismos de deformação e relaxação e a comparação entre a salga a vácuo e a salga à pressão atmosférica.

Tabela 3.1- Ensaio utilizando queijo minas frescal e corante.

	Ensaio	Vácuo (mmHg)	Vácuo	Tempo (h)	Prensa (kg)	Idade do Queijo (h)
Intensidade	EQ1	600	Intermitente	2	5	0:00
	EQ2	640	Intermitente	2	5	0:00
Tempo de vácuo	EQ3	640	Intermitente	1	5	0:00
	EQ4(EQ1)	640	Intermitente	2	5	0:00
	EQ5	640	Intermitente	3	5	0:00
Diferentes níveis de prensagem	EQ6	640	Intermitente	2	3	0:00
	EQ7(EQ1)	640	Intermitente	2	5	0:00
	EQ8	640	Intermitente	2	7	0:00
Idade do queijo	EQ9(EQ1)	640	Intermitente	2	5	0:00
	EQ10	640	Intermitente	2	5	24:00
	EQ11	640	Intermitente	2	5	48:00
Mecanismos deformação x relaxação	EQ12(EQ1)	640	Intermitente	2	5	0:00
	EQ13	640	Contínuo	2	5	0:00
Comparação vácuo x pressão atmosférica	EQ14(EQ1)	640	Intermitente	2	5	0:00
	EQ15	S/ vácuo	Contínuo	2	5	0:00

### 3.3.2. Ensaio com Frutas

Estes ensaios consistiram em colocar as frutas devidamente preparadas, conforme descrito no item 3.1.2, submersas em soluções coloridas de sacarose e, posteriormente, proceder à aplicação ou não de vácuo, analisando as diversas variáveis do processo.

Os ensaios realizados com maçãs fugi e abacaxis pérola estão relacionados na Tabela 3.2 onde as variáveis analisadas foram: o tempo de impregnação; a comparação entre os experimentos a vácuo e os ensaios à pressão atmosférica e a influência da viscosidade das soluções no processo de impregnação.

Nas impregnações a vácuo, este foi intermitente, com valor de 660 mmHg. O período de intermitência pode ser observado na tabela a seguir.

Tabela 3.2 - Ensaios com maçãs Fuji e abacaxis Pérola, utilizando corante.

<i>Ensaio</i>	<i>Fruta(s)</i>	<i>Vácuo</i>	<i>Tempo (min)</i>	<i>Intermitência</i>	<i>Solução</i>
EF1	Maçã/Abacaxi	Intermitente	12	2x (5min vácuo + 1 min $p_{atm}$ )	Água + corante
EF2	Maçã/Abacaxi	Sem vácuo	12	-	Água + corante
EF3	Maçã/Abacaxi	Intermitente	33	3x (10min vácuo + 1 min $p_{atm}$ )	Água + corante
EF4	Maçã/Abacaxi	Sem vácuo	33	-	Água + corante
EF5	Maçã/Abacaxi	Intermitente	60	2x (25min vácuo + 5 min $p_{atm}$ )	Água + corante
EF6	Maçã/Abacaxi	Sem vácuo	60	-	Água + corante
EF7	Abacaxi	Intermitente	120	4x (25min vácuo + 5 min $p_{atm}$ )	Água + corante
EF8	Maçã/Abacaxi	Intermitente	33	3x (10min vácuo + 1 min $p_{atm}$ )	Sacarose 10% + corante
EF9	Maçã/Abacaxi	Intermitente	60	2x (25min vácuo + 5 min $p_{atm}$ )	Sacarose 10% + corante
EF10	Maçã/Abacaxi	Sem vácuo	60	-	Sacarose 10% + corante
EF11	Maçã/Abacaxi	Intermitente	60	2x (25min vácuo + 5 min $p_{atm}$ )	Sacarose 39% + corante
EF12	Maçã/Abacaxi	Sem vácuo	60	-	Sacarose 39% + corante
EF13	Maçã	Intermitente	120	4x (25min vácuo + 5 min $p_{atm}$ )	Sacarose 39% + corante

### 3.4. Estudo Quantitativo: Variação Global e Perfis de Concentração de NaCl no Queijo

#### 3.4.1. Impregnação a Vácuo

Estes experimentos consistiram em colocar o queijo minas frescal, logo após a etapa de prensagem, submerso em solução de salmoura comercial a 22% em massa de NaCl. Aplicou-se vácuo com intensidade de 640 mmHg, de maneira intermitente, durante períodos de tempo pré-determinados. Os ensaios realizados estão relacionados na Tabela 3.3 e tiveram como objetivo determinar os perfis de concentração de NaCl no queijo. As determinações analíticas, para os ensaios EP1, EP2 e EP3 foram realizadas após 24h da etapa de salga. Para as amostras EP4, determinou-se os perfis de concentração de NaCl após tempos distintos de estocagem (0h, 24h ou 7 dias); visando verificar o comportamento dos perfis de concentração de sal após alguns dias do processo de impregnação a vácuo de sal no queijo.



Tabela 3.3- Ensaio utilizando queijo minas frescal e salmoura.

Ensaio	Tempo (min)	Intermitência	$\Delta t_{\text{salga-análises}}$
EP1	120	4x (25 min vácuo + 5 min $p_{\text{atm}}$ )	24 h
EP2	30	3x (9 min vácuo + 1 min $p_{\text{atm}}$ )	24 h
EP3A	20	2x (9 min vácuo + 1 min $p_{\text{atm}}$ )	24 h
EP3B	20	2x (9 min vácuo + 1 min $p_{\text{atm}}$ )	24 h
EP4A	15	2x (6,5 min vácuo + 1 min $p_{\text{atm}}$ )	0 h
EP4B	15	2x (6,5 min vácuo + 1 min $p_{\text{atm}}$ )	24 h
EP4C	15	2x (6,5 min vácuo + 1 min $p_{\text{atm}}$ )	7 dias

### 3.4.2. Impregnação a Pressão Atmosférica

O experimento de impregnação a pressão atmosférica (EP SV) consistiu em colocar o queijo minas frescal, logo após a etapa de prensagem, submerso em salmoura a 22% em massa de NaCl. A matriz sólida permaneceu em contato com a solução durante 6 horas à pressão atmosférica. A determinação dos perfis de concentração de NaCl foi realizada 24 horas após a etapa de salga do queijo.

### 3.4.3. Determinação da Variação da Massa do Queijo Minas Frescal devido ao Processo de Salga

Determinou-se a variação da massa do queijo minas frescal a partir de uma balança semi-analítica da marca Gehaka, modelo BG2000. Pesou-se o queijo logo após a etapa de prensagem e após o processo de salga. A partir das massas inicial e final foi possível determinar a variação percentual da massa de cada queijo.

### 3.4.4. Determinação da Fração Volumétrica de Líquido Impregnada no Interior dos Poros do Queijo através do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM)

Os valores experimentais da fração volumétrica de líquido que penetrou no interior dos poros do queijo ( $x$ ) foram calculados de acordo com a equação 3.1 (ANDRÉS, FITO, & CHIRALT, 1995):

$$x = \frac{M_f - M_0}{\rho V_0} \quad (3.1)$$

onde  $M_0$  é a massa do queijo antes da impregnação,  $M_f$  é a massa do queijo final,  $V_0$  é o volume inicial da amostra e  $\rho$  é a massa específica da salmoura.

Estes valores obtidos experimentalmente foram comparados com os valores calculados através da equação 2.14 do Modelo Hidrodinâmico (HDM).

A porosidade efetiva foi calculada para cada queijo, mediante a equação 3.2:

$$\varepsilon_e = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{AP}} \quad (3.2)$$

onde  $\rho_s$  é a massa específica da matriz sólida e  $\rho_{AP}$  é a massa específica aparente da matriz sólida, que pode ser calculada dividindo-se a massa a amostra pelo volume da mesma.

As massas específicas do queijo e da solução de salmoura, foram determinadas experimentalmente, em triplicata, por picnometria (ISMAIL, 1986; LEWIS, 1993).

#### **3.4.5. Preparação das Amostras para a Determinação dos Perfis de Concentração de NaCl**

Para as determinações dos perfis de concentração, foram utilizadas amostras dos queijos depois da etapa de salga. Os queijos foram cortados, com um gabarito de aço inoxidável, obtendo-se amostras com três raios distintos (E: amostras externas, diâmetro de 10,2 cm; M: amostras do meio do queijo, diâmetro de 7,3 cm; I: amostras do centro do queijo, diâmetro de 3,5 cm). Os queijos foram seccionados em três alturas diferentes (1, 2 e 3), tendo estes três cortes longitudinais sido realizados dividindo-se a altura original do queijo em três partes iguais, conforme ilustrado na figura 3.2.

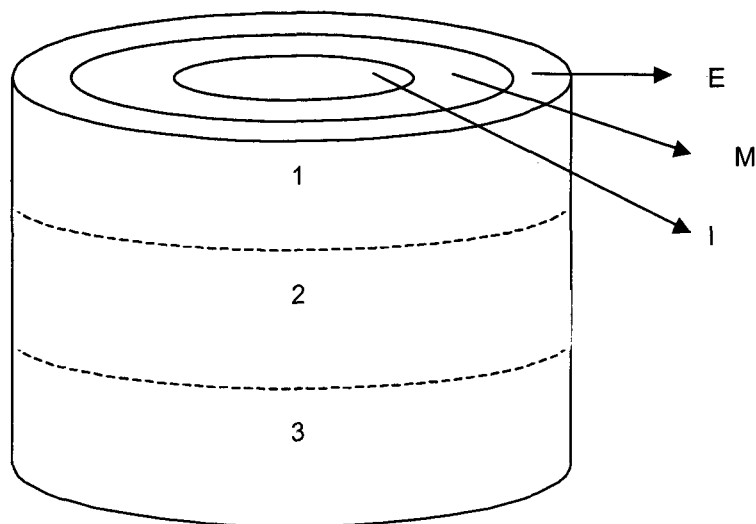


Figura 3.2 - Cortes realizados no queijo minas frescal para a determinação dos perfis de concentração de NaCl.

Em cada queijo analisado, foram determinadas as concentrações das nove partes distintas (E1, E2, E3, M1, M2, M3, I1, I2 e I3), realizando os ensaios de cada amostra em triplicata.

#### **3.4.6. Técnica Analítica para a Determinação da Concentração de NaCl**

A técnica analítica empregada para a determinação da concentração de NaCl em cada parte do queijo foi a técnica de determinação de cloretos por volumetria (método de Mohr modificado) (PREGNOLATTO & PREGNOLATTO, 1985), utilizada no Instituto Adolfo Lutz e validada por uma variação do método de Volhard (AOAC, 1995).

##### **3.4.6.1. Materiais**

###### **3.4.6.1.1. Queijo**

Inicialmente, triturou-se uma amostra de queijo minas, previamente cortada, de acordo com a figura 3.2. Pesou-se 5g de amostra numa cápsula de porcelana e procedeu-se à calcinação desta amostra em mufla a 550 °C.

### 3.4.6.1.2. Reagentes

Os seguintes reagentes químicos foram utilizados:

- Ácido nítrico (1+9)
- Carbonato de cálcio
- Solução de cromato de potássio a 10 %, em massa
- Solução de nitrato de prata 0,1 N

Todos os reagentes empregados na preparação das soluções descritas acima foram reagentes com grau P.A. (para análise).

### 3.4.6.2. Titulação de Precipitação

Os cloretos presentes numa alíquota de uma amostra previamente calcinada foram extraídos com uma solução de ácido nítrico e, posteriormente, neutralizados com carbonato de cálcio. Para a leitura do pH foi utilizado um pH-metro microprocessado, da marca Analion, modelo AN-2000.

Procedeu-se à titulação com uma solução padronizada de Nitrato de Prata, na presença de cromato de potássio, como indicador. O ponto final da titulação é identificado pela coloração castanho-avermelhada, resultante da formação de cromato de prata depois de toda a precipitação do cloreto de prata.

#### 3.4.6.2.1. Marcha Analítica

Após a calcinação das alíquotas das amostras, procedeu-se à extração e à titulação dos cloretos, que consistiu em:

- a) adicionar 5mL de ácido nítrico (1+9) e 30mL de água quente, com posterior agitação;
- b) filtrar o extrato em papel filtro e lavar este papel filtro com mais 50 mL de água quente;
- c) neutralizar o filtrado com carbonato de cálcio;
- d) aquecer este filtrado em banho-maria até não haver mais o despreendimento de dióxido de carbono;
- e) esfriar a solução a temperatura ambiente;

- f) adicionar duas gotas de solução de cromato de potássio a 10% em massa;
- g) titular com a solução de nitrato de prata 0,1N, até o aparecimento de uma coloração castanho-avermelhada.

#### 3.4.6.2.2. Cálculos

O percentual de cloretos presente no cloreto de sódio (NaCl) de uma alíquota de queijo é calculado através da equação (3.2):

$$\frac{V \times f \times 0,584}{P} = \text{cloretos, em cloreto de sódio, por cento} \quad (3.2)$$

onde,

V: volume (mL) da solução de nitrato de prata 0,1 N gasto na titulação

f: fator de correção da solução de nitrato de prata 0,1 N

P: massa da amostra (g)

#### 3.4.7. Apresentação dos Perfis de Concentração de NaCl

Os perfis de concentrações de sal foram apresentados em tabelas e em forma de gráficos tridimensionais, obtidos a partir do software MATLAB, versão 6.0. Os gráficos representam a concentração de sal em cada parte do queijo. As figuras foram geradas considerando uma fatia de queijo cortada de acordo com a figura 3.3. A partir desta fatia, conseguiu-se representar as variações de concentração de sal em função do raio e da altura.

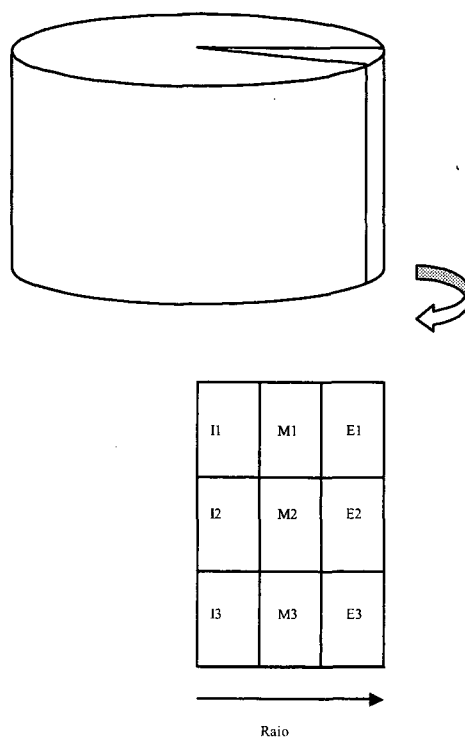


Figura 3.3 - Fatia de queijo minas frescal, que representa os perfis de concentração de NaCl no interior do mesmo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados qualitativos obtidos no estudo da impregnação a vácuo utilizando soluções coloridas, em queijos e frutas. Estes resultados são apresentados na forma de fotografias, registradas logo após a realização do processo de salga.

Numa segunda etapa são analisados os resultados quantitativos dos experimentos de salga do queijo minas frescal com salmoura a 22% em massa. Os perfis de concentração de NaCl nos queijos são apresentados em forma de tabelas e gráficos.

### 4.1. Estudo Qualitativo: Ensaio com Queijos e Frutas Utilizando Soluções Coloridas

#### 4.1.1. Ensaio com Queijo Minas Frescal

Os ensaios utilizando queijo minas frescal e soluções coloridas com azul de metileno mostraram a influência da intensidade do vácuo, do tempo de impregnação a vácuo, dos diferentes níveis de prensagem do queijo, da idade do queijo e dos mecanismos de deformação e relaxação durante o processo de salga. Também realizou-se uma comparação entre a salga a vácuo e a salga à pressão atmosférica.

##### 4.1.1.1. Influência da Intensidade do Vácuo

Estes ensaios foram realizados utilizando queijos produzidos em laboratório e prensados com 5 kg do peso conforme descrito anteriormente no item 3.1.1. Imediatamente após a prensagem, procedeu-se a impregnação a vácuo durante 2 horas. Foram realizados ensaios com intensidades distintas de vácuo intermitente (EQ1: 600 mmHg e EQ2: 640 mmHg). As figuras 4.1a e 4.2b ilustram estes ensaios.

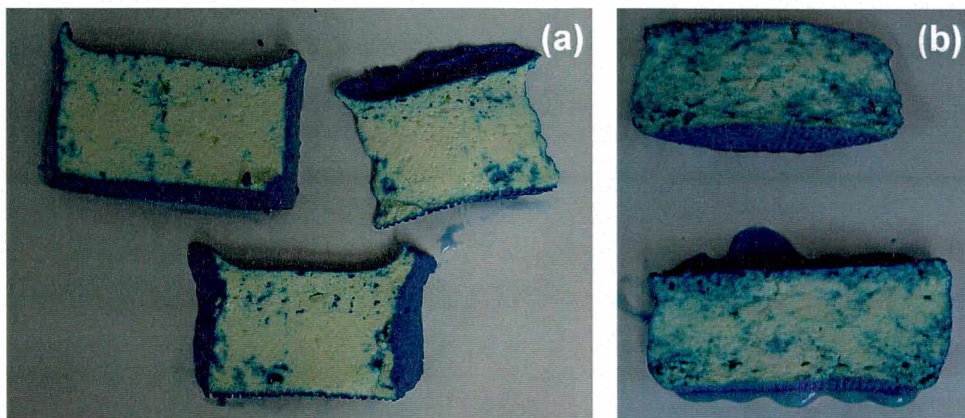


Figura 4.1 - (a) Ensaio EQ1, impregnação utilizando vácuo intermitente de 600 mmHg durante 2h. (b) Ensaio EQ2, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h.

Uma análise comparativa dos dois ensaios mostrou que a intensidade de vácuo de 640 mmHg é muito mais eficaz na impregnação que a de 600 mmHg, durante um mesmo período de tempo (2h).

Foram realizados ensaios com uma intensidade de vácuo superior que 640 mmHg, mas ocorreram danos mecânicos no produto. O queijo ficou mais poroso e durante o manuseio do produto ocorreram fissuras na superfície do mesmo.

#### 4.1.1.2. *Influência do Tempo de Aplicação do Vácuo*

Estes ensaios foram realizados utilizando queijos produzidos em escala laboratorial e submetidos a uma prensa de 5 kg e logo após a prensagem procedeu-se a impregnação utilizando vácuo intermitente de 640mmHg. Foram realizados ensaios para verificar o tempo de aplicação de vácuo intermitente, (EQ3:1h, EQ4:2h, EQ5:3h). As fotografias mostradas nas figuras 4.2a, 4.2b e 4.2c representam estes ensaios, as quais indicam que o tempo de processo tem grande influência na eficácia da impregnação.



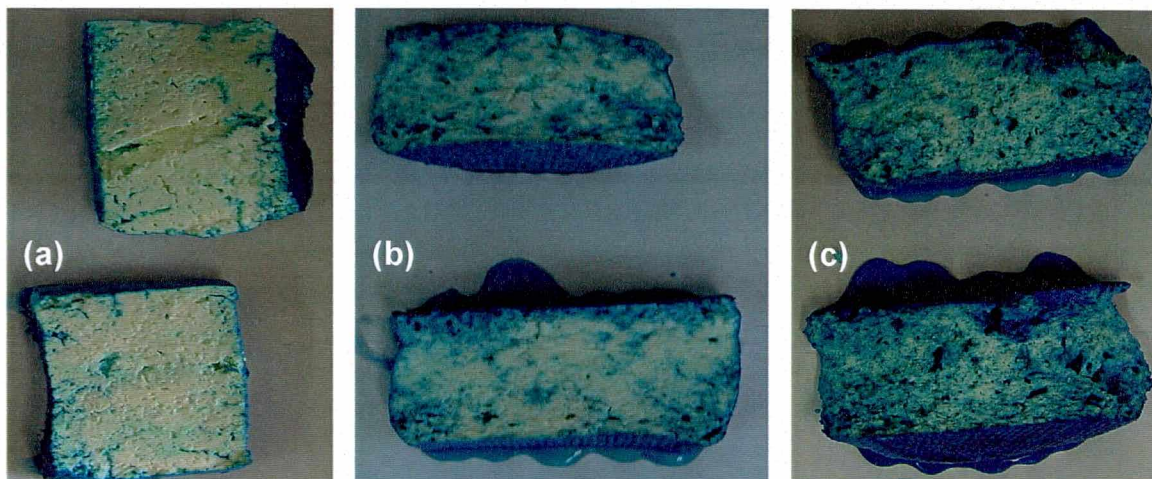


Figura 4.2 - (a) Ensaio EQ3, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 1h. (b) Ensaio EQ4, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (c) Ensaio EQ5, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 3h.

#### 4.1.1.3. Influência da Intensidade da Prensagem dos Queijos

Os queijos submetidos a diferentes pesos (3kg, 5kg e 7kg) na etapa de prensagem foram impregnados utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2 horas. As fotografias dos ensaios EQ6, EQ7 e EQ8 são apresentadas na figura 4.3.

Observa-se que os níveis de prensagem interferem na impregnação a vácuo, como era de se esperar. Quanto maior o peso da prensa menor será a porosidade e o tamanho médio dos poros do queijo. A consequência disso foi a menor impregnação de salmoura para os queijos prensados mais intensamente. Constatou-se também, que a quantidade de solução impregnada nos ensaios em que foram utilizados pesos de 3kg e 5kg foi praticamente a mesma. Comparando-se as qualitativamente as texturas dos queijos em questão, observou-se que o queijo prensado com 3kg é menos compacto e retém maior quantidade de soro do que o queijo prensado com 5kg.

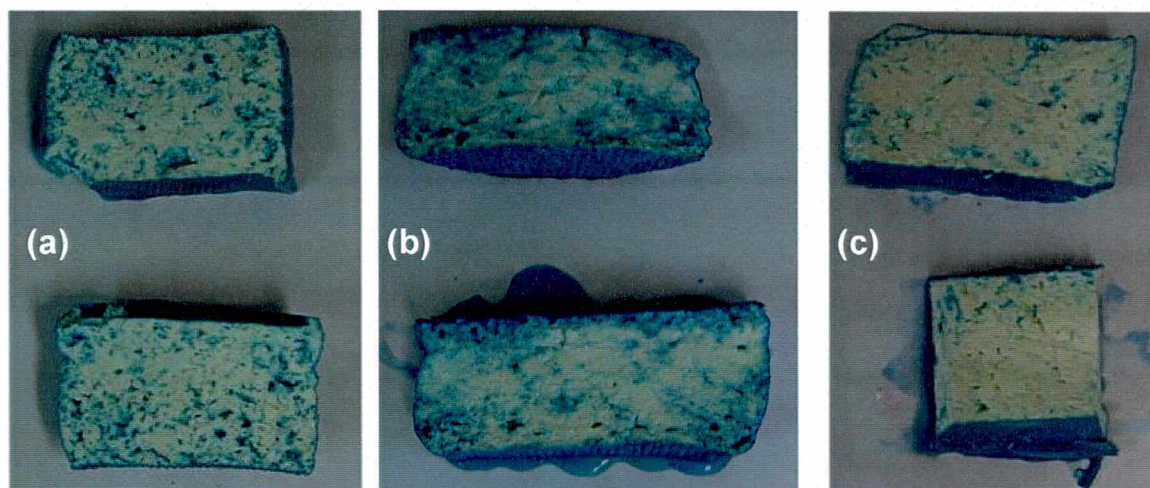


Figura 4.3 - (a) Ensaio EQ6, queijo prensado com prensa de 3kg, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (b) Ensaio EQ7, queijo prensado com prensa de 5kg, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (c) Ensaio EQ8, queijo prensado com prensa de 7kg, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640mmHg durante 2h.

#### 4.1.1.4. Influência da Idade do Queijo

Os queijos utilizados foram produzidos conforme descrito anteriormente e prensados com 5kg. O queijo EQ9 foi impregnado logo após a etapa de prensagem, com vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2 horas. O queijo EQ10 foi impregnado após 24 horas da etapa de prensagem e o queijo EQ11 foi impregnado após 48 horas da etapa de prensagem, ambos sob as mesmas condições de impregnação. As fotografias dos ensaios EQ9, EQ10 e EQ11 encontram-se abaixo.

A idade do queijo também tem influência na intensidade da impregnação a vácuo. As reações de proteólise fazem com que quanto mais velho for o queijo, mais fechados encontram-se seus poros e, conseqüentemente, a impregnação a vácuo será menos eficiente. Isto pode ser observado comparando-se as figuras 4.4a, 4.4b e 4.4b. Observando a figura 4.4c, nota-se que houve a impregnação de salmoura e corante, esta impregnação ocorreu devido às fissuras longitudinais presentes no queijo, que ocorreram durante o processo de impregnação. Estas fissuras eram praticamente inexistentes sob pressão atmosférica, mas com a aplicação de vácuo intermitente ocorreu um aumento significativo das mesmas.

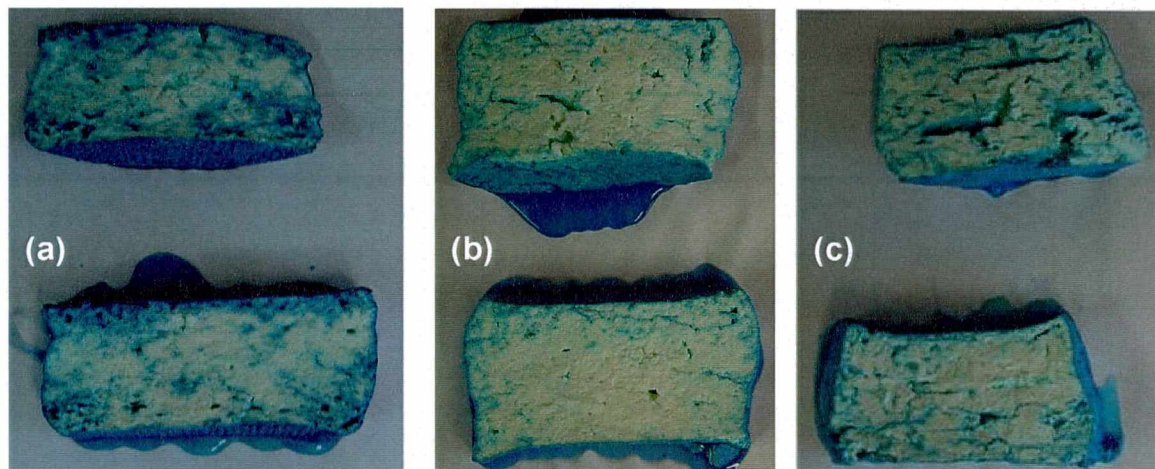


Figura 4.4 - (a) Ensaio EQ9, queijo impregnado logo após a etapa de prensagem, utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (b) Ensaio EQ10, queijo impregnado após 24h da etapa de prensagem, utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (c) Ensaio EQ11, queijo impregnado após 48 h da etapa de prensagem, utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h.

#### 4.1.1.5. Influência dos Mecanismos de Deformação-Relaxação

Estes ensaios foram realizados com queijos produzidos em laboratório e prensados com 5kg. No primeiro ensaio, para verificar a influência dos mecanismos de deformação-relaxação, realizou-se vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2 horas, enquanto em um segundo ensaio, o vácuo de 640 mmHg foi aplicado de forma contínua durante 2 horas.

As fotografias mostradas nas figuras 4.5a e 4.5b mostraram que a realização de vácuo de forma intermitente favoreceu a ocorrência do mecanismo de relaxação-deformação dos poros do queijo, facilitando a saída de ar dos poros e a entrada de salmoura colorida no interior do queijo. No experimento onde foi aplicado vácuo de forma contínua, a impregnação de salmoura foi menor, o que pode ser atribuído à ausência do mecanismo de relaxação-deformação.

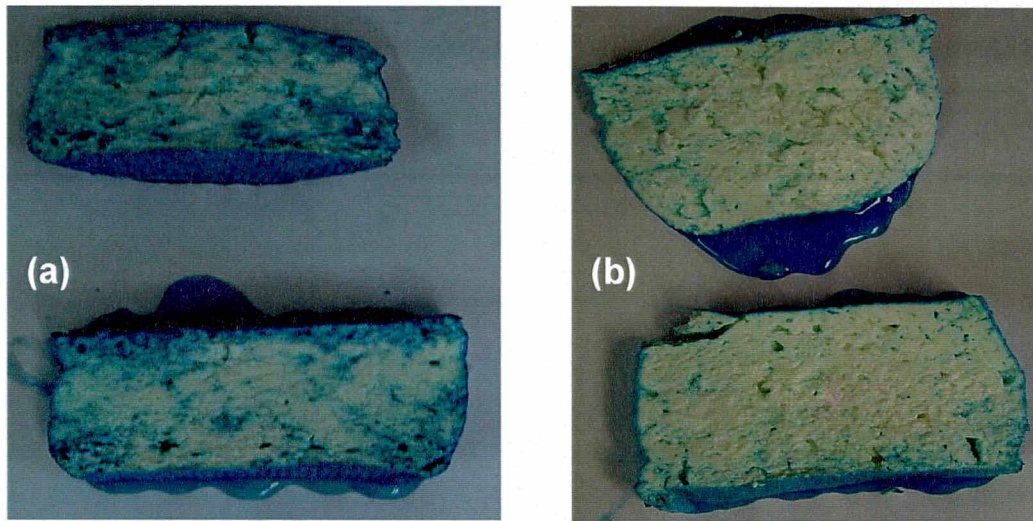


Figura 4.5 - (a) Ensaio EQ12, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (b) Ensaio EQ13, impregnação utilizando vácuo contínuo de 640 mmHg durante 2h.

#### 4.1.1.6. Comparação da Salga a Vácuo (Intermitente) com a Salga à Pressão Atmosférica

Os queijos utilizados foram produzidos no laboratório, conforme foi descrito anteriormente. No ensaio EQ14 os queijos foram impregnados com solução de salmoura colorida, utilizando vácuo de 640 mmHg de forma intermitente, durante 2 horas. No experimento EQ15, a salga foi realizada à pressão atmosférica, durante 2 horas. As Figuras 4.6a e 4.6b representam esses ensaios.

Analisando as duas fotografias, constata-se que a salga a vácuo é muito mais eficaz. Durante um mesmo período de tempo ocorre uma impregnação muito maior de salmoura no interior do queijo quando se aplica vácuo de forma intermitente, se comparado com a salga sob pressão atmosférica.

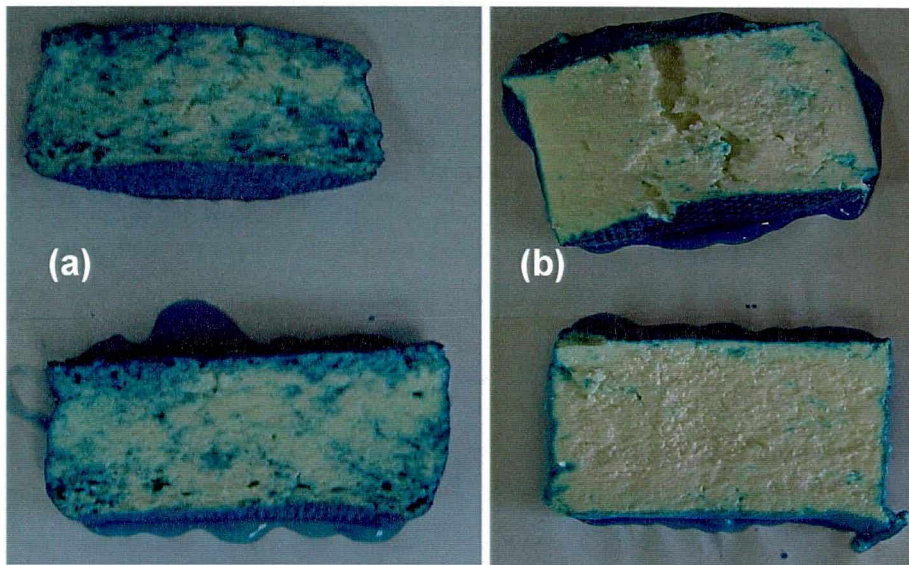


Figura 4.6 - (a) Ensaio EQ14, impregnação utilizando vácuo intermitente de 640 mmHg durante 2h. (b) Ensaio EQ15, salga a pressão atmosférica durante 2h.

De acordo com as figuras apresentadas nesta seção, constata-se que o processo de salga do queijo minas frescal, utilizando salmoura colorida a 22% em massa deve ser realizado com intensidade de vácuo de 640 mmHg, para uma prensagem com 5kg de peso. A aplicação do vácuo deve ser realizada logo após o processo de prensagem, evitando que ocorra a diminuição ou até mesmo o fechamento dos poros da matriz sólida do alimento. A aplicação do vácuo deve ser realizada de forma intermitente (pulsos), aumentando a eficácia da impregnação de salmoura no alimento. Através destes experimentos comprova-se que a impregnação a vácuo reduz significativamente os tempos de salga dos queijos, se comparado com a salga à pressão atmosférica.

Os resultados destes experimentos comprovam as bases teóricas do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM), proposto por Fito & Pastor (FITO, 1994) e a presença dos Fenômenos de Deformação-Relaxação (DRP) durante a impregnação a vácuo de soluções em alimentos porosos (ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995). Verificou-se que o tempo de impregnação de uma solução numa matriz sólida pode ser reduzida sensivelmente com a aplicação do vácuo, fatores como a intensidade, tempo de aplicação do vácuo e intermitência interferem na quantidade de material impregnado. A porosidade e a microestrutura do alimento também afetam a cinética de impregnação.

#### **4.1.2. Ensaio com Frutas**

##### **4.1.2.1. Ensaio com Água Colorida**

Nos ensaios apresentados a seguir foram utilizadas amostras de frutas preparadas de acordo com o explicado anteriormente.

As impregnações com água colorida e azul de metileno foram realizadas utilizando vácuo intermitente de 660 mmHg, durante tempos de impregnação distintos de 12, 33, 60 e 120 minutos. Observando as fotografias da figura 4.7, constata-se que ocorre impregnação de água colorida na maçã que foi submetida a 12 minutos de vácuo intermitente. O aumento do tempo de impregnação aumenta a impregnação de solução na maçã; o que demonstra que os poros da maçã são interligados. No abacaxi, a impregnação ocorre somente nas proximidades da superfície, mesmo depois da aplicação de vácuo intermitente durante 120 minutos; o que sugere que os poros do abacaxi não são interligados ou apresentam uma resistência maior a passagem do soluto através da membrana do vegetal devido as características específicas das células do mesmo.

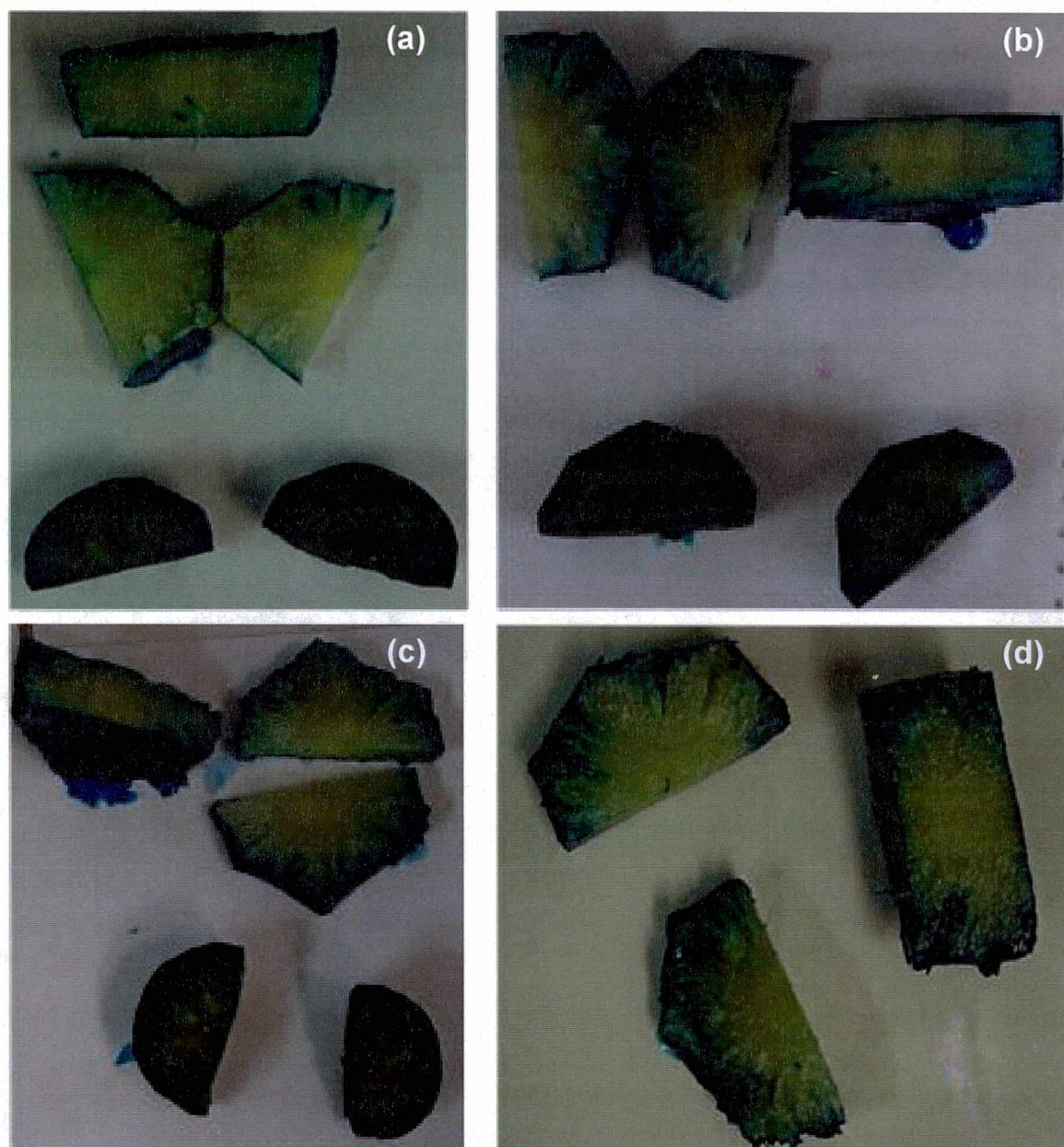


Figura 4.7 - (a) Ensaio EF1, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660 mmHg durante 12 min, utilizando solução de água e azul de metileno. (b) Ensaio EF3, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660 mmHg durante 33min, utilizando solução de água e azul de metileno. (c) Ensaio EF5, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660 mmHg durante 60min, utilizando solução de água e azul de metileno. (d) Ensaio EF7, impregnação no abacaxi aplicando vácuo intermitente de 660 mmHg durante 120min, utilizando solução de água e azul de metileno.

As figuras 4.8a, 4.8b e 4.8c mostram fotografias de frutas embebidas em solução de água colorida, a pressão atmosférica, durante tempos de distintos de 12, 33 e 60 minutos. Constata-se que não ocorre a entrada de água colorida no interior das frutas nos tempos de 12 e 33 minutos. No entanto, aos 60 minutos, a presença de água colorida no interior da maçã e nas proximidades da superfície do abacaxi.

Comparando os ensaios em que se utilizou vácuo com os ensaios à pressão atmosférica, observa-se que a aplicação do vácuo é eficaz, principalmente para a maçã. Ou seja, ocorre uma impregnação significativa de solução colorida na maçã, provavelmente devido a sua porosidade.

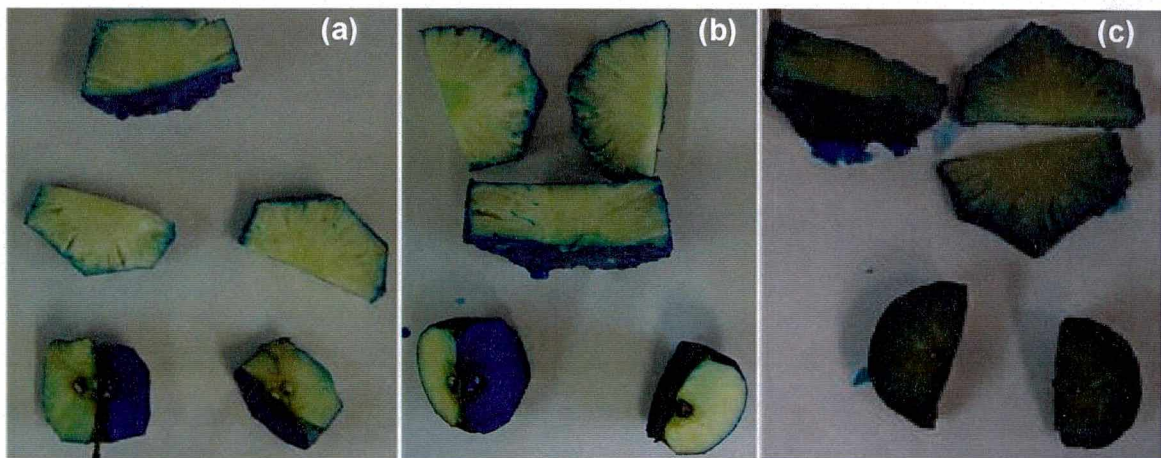


Figura 4.8 - (a) Ensaio EF2, difusão da solução de água e azul de metileno à pressão atmosférica, durante 12 minutos. (b) Ensaio EF4, difusão da solução de água e azul de metileno à pressão atmosférica, durante 33 minutos. (c) Ensaio EF6, difusão da solução de água e azul de metileno à pressão atmosférica, durante 60 minutos.

#### 4.1.2.2. Ensaios com Solução Colorida de Sacarose a 10%

Nos experimentos apresentados a seguir, amostras de frutas foram impregnadas com solução colorida com 10 % de sacarose, utilizando vácuo intermitente de 660 mmHg, durante tempos de impregnação de 33 e 60 minutos.



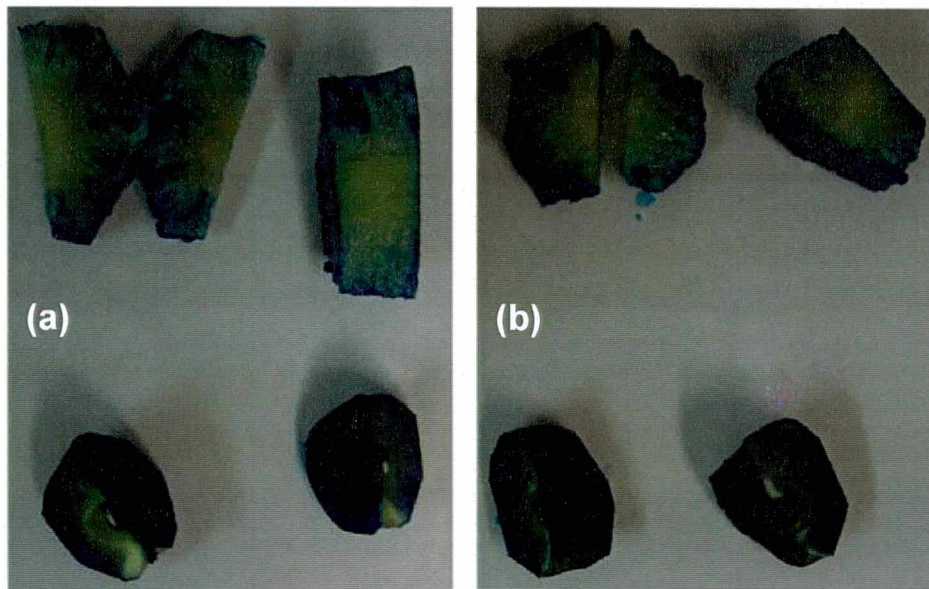


Figura 4.9 - (a) Ensaio EF8, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660mmHg durante 33 minutos, utilizando solução de sacarose a 10% e azul de metileno. (b) Ensaio EF9, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660mmHg durante 60 minutos, utilizando solução de sacarose a 10% e azul de metileno.

As figuras 4.9a e 4.9b indicam que, aos 33 minutos, não ocorreu uma impregnação total no interior das maçãs com a solução de sacarose colorida, mas aos 60 minutos o interior da mesma é impregnado. No abacaxi, a impregnação ocorreu somente próximo à superfície, tanto para 33 minutos como para 60 minutos de contato, confirmando os resultados obtidos com água colorida (figura 4.8). Era de se esperar que a impregnação das frutas com a solução de sacarose fosse mais difícil, se comparada com a impregnação de água, devido à diferença de viscosidade.  $\mu_{\text{solução sacarose 39\%}} = 5.206 \text{ cp}$ ,  $\mu_{\text{água}} = 085 \text{ cp}$  (PERRY & GREEN, 1999).

Também se realizou ensaios à pressão atmosférica, com solução colorida de sacarose (10%), com tempo de contato de 60 minutos. As fotografias representativas desses experimentos são apresentadas na figura 4.10. Essa figura mostra que não ocorreu a entrada de solução colorida de sacarose e corante nas frutas, depois da imersão das mesmas por 1 hora, à pressão atmosférica.



Figura 4.10 - Ensaio EF10, difusão da solução de sacarose a 10% e azul de metileno à pressão atmosférica, durante 60 minutos.

#### 4.1.2.3. Ensaio com Solução Colorida de Sacarose a 39%

As figuras 4.11a e 4.11b mostram as fotografias dos cortes de frutas impregnadas com solução colorida de sacarose a 39% utilizando vácuo intermitente de 660 mmHg, durante tempos de impregnação de 60 e 120 minutos.

Observando a figura 4.11a, constata-se que ocorreu pouca impregnação de solução colorida de sacarose a 39% no interior da maçã e no abacaxi ocorreu apenas impregnação superficial de solução colorida. Aumentando o tempo de vácuo para 120 min, observa-se que a impregnação de solução de sacarose a 39% e corante no interior da maçã foi maior do que no ensaio de 60 min, porém não tingiu toda a fruta, confirmando que a viscosidade da solução tem grande influência sobre a eficácia da impregnação. A influência da viscosidade na cinética da osmose desidrataçã na impregnação a vácuo também foi constatada em outros estudos (BARRAT, FITO & CHIRALT, 2001; GIRALDO, TALENS, FITO, *et al.*, 2003)

No ensaio EF12 apresentado abaixo, as amostras de frutas impregnadas com solução colorida de sacarose a 39% à pressão atmosférica, durante 60 minutos.

O ensaio ilustrado pela figura 4.12 foi realizado com frutas deixadas em contato com solução de sacarose a 39% e azul de metileno à pressão atmosférica, durante 60 minutos.

Analisando estas fotografias constata-se que não ocorre a entrada de solução colorida a 39% à pressão atmosférica, durante 60 minutos.

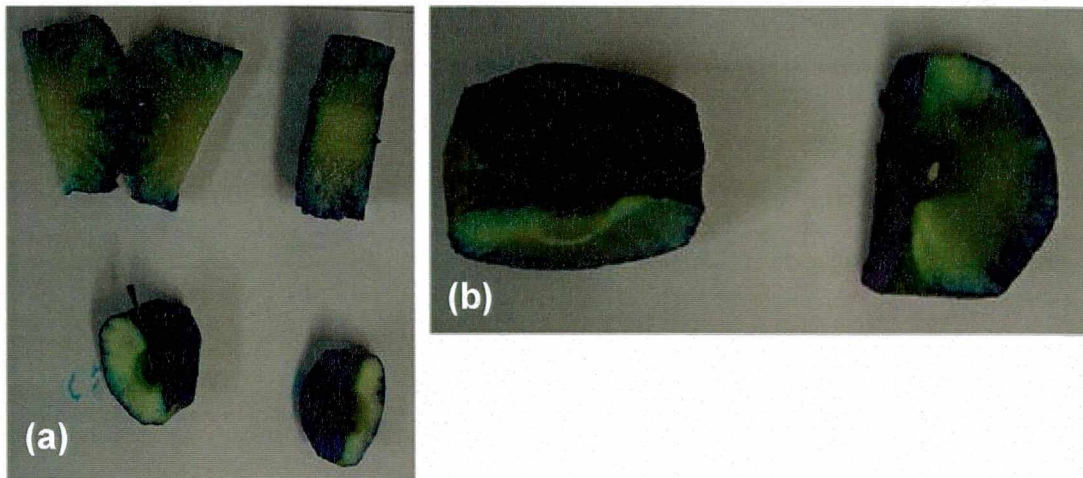


Figura 4.11 - (a) Ensaio EF11, impregnação aplicando vácuo intermitente de 660mmHg durante 60 minutos, utilizando solução de sacarose a 39% e azul de metileno. (b) Ensaio EF13, impregnação na maçã aplicando vácuo intermitente de 660mmHg durante 120 minutos, utilizando solução de sacarose a 39% e azul de metileno.



Figura 4.12 - Ensaio EF12, difusão da solução de sacarose a 39% e azul de metileno à pressão atmosférica, durante 60 minutos.

Observando os ensaios realizados com a maçã Fuji e o abacaxi Pérola, constatou-se que o tempo de impregnação está diretamente relacionado com a viscosidade, ou seja, quanto maior a viscosidade da solução utilizada, maior será o tempo de impregnação utilizando vácuo intermitente. Estes resultados estão de acordo com as bases teóricas do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM), proposto por Fito e Pastor (FITO 1994). A relação inversamente proporcional entre a viscosidade e o incremento de profundidade de penetração em relação ao tempo pode ser observada rearranjando a equação 2.2 (ANDRÉS, FITO & CHIRALT, 1995), obtendo-se:

$$-\Delta P \left( \frac{D^2}{32\mu z^2} \right) = x_v \frac{dx}{dt} \quad (4.1)$$

A partir dos experimentos com as frutas, pode-se observar que a conectividade entre os poros da matriz sólida do alimento está relacionada com a quantidade de solução que pode ser impregnada utilizando o vácuo. Alimentos com poros interligados apresentam uma maior impregnação de solução durante a aplicação de vácuo. A porosidade da matriz sólida é uma das características fundamentais para a realização da operação de impregnação a vácuo.

## 4.2. Estudo Quantitativo: Variação Global e Perfis de Concentração de NaCl no Queijo

### 4.2.1. Determinação da Variação de Massa do Queijo Minas Frescal entre a Etapa de Prensagem e a Salga

Os queijos foram pesados antes e depois da etapa de salga a vácuo. A partir das massas inicial e final foi possível determinar a variação percentual da massa de cada queijo. As variações percentuais das massas dos queijos (EP1, EP2, EP3A, EP3B, EP4A, EP4B, EP4C e EPSV) podem ser visualizadas através da tabela 4.1 da figura 4.13

Tabela 4.1- Variação percentual da massa do queijo minas frescal entre a etapa de prensagem e a salga.

Ensaio	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Variação Massa (%)
EP1	377,53	457,30	17%
EP2	547,24	612,42	11%
EP3A	508,14	547,54	7%
EP3B	489,56	525,40	7%
EP4A	577,31	587,59	2%
EP4B	578,33	589,99	2%
EP4C	503,89	516,18	2%
EPSV	428,00	444,83	4%

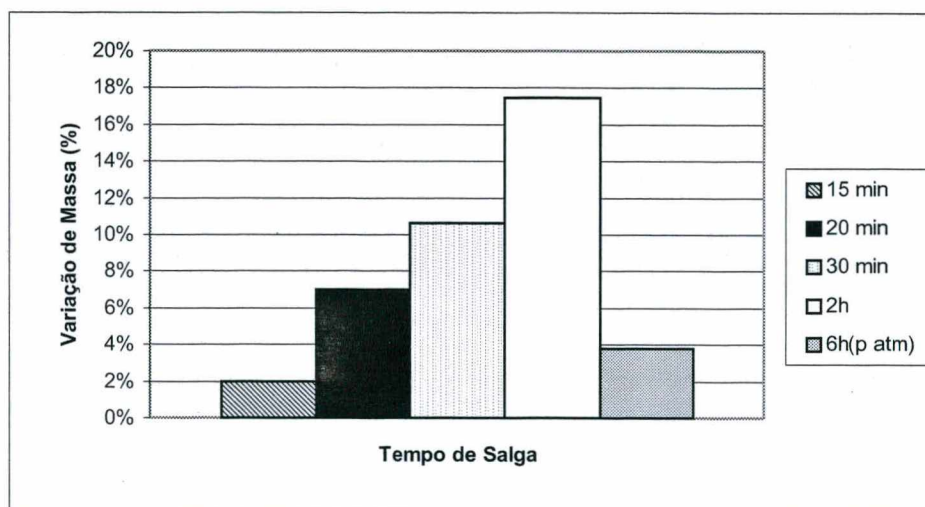


Figura 4.13 - Variação percentual da massa do queijo minas frescal entre a etapa de prensagem e a salga para tempos distintos de salga.

Constata-se, através da tabela e do gráfico apresentados acima, que quanto maior o tempo de impregnação a vácuo maior será o ganho de massa. A salga do queijo minas frescal através do processo convencional, durante 6 horas, promoveu um aumento na massa do queijo em torno de 4% e durante 20min de salga a vácuo, obteve-se um aumento de 7% no ganho de massa. Isto comprova que a impregnação a vácuo reduz significativamente os tempos do processo de salga dos queijos se comparado com a salga à pressão atmosférica. Estudos com queijo tipo Manchego (GUAMIS, TRUJILLO, FERRAGUT, *et al.*, 1997; GONZALEZ, FUENTES, ANDRÉS, *et al.*, 1999; PAVIA, GUAMIS, TRUJILLO, *et al.*, 1999; GONZÁLEZ-MARTINEZ, CHAFER, FITO, *et al.*, 2002) obtiveram a mesma conclusão em seus experimentos.

#### 4.2.2. Determinação da Fração Volumétrica de Líquido Impregnada no Interior dos Poros do Queijo através do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM)

Os valores da massa específica do queijo minas frescal e da solução de salmoura foram determinados por picnometria, conforme foi descrito no item 3.4.4. Os valores obtidos foram:

$$\rho_{\text{salmoura}} = 1,138 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{queijo}} = 1,043 \text{ g/cm}^3$$

A partir das pressões de operação pode-se calcular a relação de compressão real ( $r$ ) e a penetração do líquido nos poros, em função do volume de poros que foi ocupado pelo líquido ( $x_v$ ). Os valores obtidos foram:

$$r = 6,33$$

$$x_v = 0,842$$

Os valores da fração volumétrica de líquido percentual que penetrou no interior dos poros do queijo ( $x$ ), determinados experimentalmente e através da equação 2.14 do Modelo Hidrodinâmico (HDM), foram calculados para cada queijo e estão relacionados na tabela abaixo:

Tabela 4.2 - Valores de  $x$  determinados experimentalmente e através do Modelo Hidrodinâmico (HDM).

Amostra	$M_0$	$M_f$	$h$	$V$	$\rho_{AP}$	$\epsilon_e$	$x = x_v \epsilon$	$x_{exp}$
EP1	377,53	457,30	4,1	335,02	1,13	0,074	6%	21%
EP2	547,24	612,42	6,0	490,28	1,12	0,066	6%	12%
EP3A	508,14	547,54	5,6	457,59	1,11	0,061	5%	8%
EP3B	489,56	525,40	5,3	433,08	1,13	0,077	7%	7%
EP4A	577,31	587,59	6,3	514,79	1,12	0,070	6%	2%
EP4B	578,33	589,99	6,3	514,79	1,12	0,072	6%	2%
EP4C	503,89	516,18	5,5	449,42	1,12	0,070	6%	2%

onde  $h$  é a altura do queijo e  $V$  é o volume do queijo.

Comparando os valores obtidos para  $x$  e  $x_{exp}$ , constatou-se que os valores experimentais dos ensaios realizados com tempos acima de 30 min de impregnação são superiores aos calculados através do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM). Para efeito de cálculo, os Fenômenos de Deformação-Relaxação (DRP) foram desconsiderados, e o maior valor de  $x_{exp}$ , provavelmente ocorreu devido a estes fenômenos. Alguns autores constataram que o HDM ocorre simultaneamente aos DRP (ANDRÉS, FITO, & CHIRALT, 1995). Para o queijo minas frescal, o acoplamento destes dois mecanismos deve ser considerado.

Os valores de  $x_{exp}$  decrescem com a diminuição dos tempos de impregnação, devido ao não preenchimento de toda a fração volumétrica dos poros que poderia ser penetrada, o que não é considerado no Mecanismo Hidrodinâmico (HDM), que considera o sistema no equilíbrio.

Comparando a variação percentual da massa do queijo minas frescal, entre a etapa de prensagem e a salga, com valores da fração volumétrica experimental de líquido que penetrou no interior dos poros do queijo ( $x_{exp}$ ), observa-se que a variação percentual da massa é menor do que o percentual de  $x_{exp}$ . Isto era previsto devido aos fluxos de massa, em contra-corrente, que ocorrem durante a etapa de salga, que são: a entrada de salmoura e a perda de água e outros compostos presentes no interior do queijo.

#### **4.2.3. Impregnação a Vácuo: Perfis de Concentração de NaCl**

Os queijos minas frescal foram impregnados a vácuo e preparados para as análises, de acordo com o item 3.4.4. Os perfis de concentração do sal no queijo foram determinados conforme a metodologia analítica descrita no capítulo 3. Os resultados destes encontram-se relacionados em tabelas e gráficos tridimensionais, apresentados a seguir. Os gráficos tridimensionais foram gerados no programa MATLAB (HANSELMAN & LITTLEFIELD, 1997) e representam uma fatia retirada do queijo minas frescal, conforme descrito no tópico 3.4.6. Estas figuras apresentam os perfis de concentração de NaCl em função do raio e da altura do queijo.

Inicialmente impregnou-se o queijo durante 2 horas, utilizando vácuo intermitente com intensidade de 640 mmHg, ensaio EP1. Analisando os resultados da Tabela 4.2 e da Figura 4.14, constata-se que a impregnação foi eficaz, mas o queijo obtido apresentou uma concentração média de sal elevada, em torno de 5%. Observa-se, através do gráfico tridimensional para o ensaio EP1, que as concentrações das amostras próximas ao centro do queijo são semelhantes às concentrações das amostras externas (E1, E2 e E3).

A concentração média de sal recomendada para este tipo de queijo deve ser de aproximadamente 1,6% (FURTADO, 1991).

Tabela 4.3 - Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP1, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 2 horas. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga .

Amostra	% NaCl (Tit. 1)	% NaCl (Tit. 2)	% NaCl (Tit.3)	Média (%NaCl)
E1	5,49	5,43	5,33	5,42
E2	5,55	5,36	5,47	5,46
E3	5,45	5,43	5,42	5,44
M1	4,80	4,81	4,81	4,81
M2	4,44	4,43	4,43	4,43
M3	4,79	4,78	4,77	4,78
I1	4,71	4,70	4,70	4,70
I2	4,01	4,02	4,02	4,01
I3	4,67	4,70	4,71	4,69

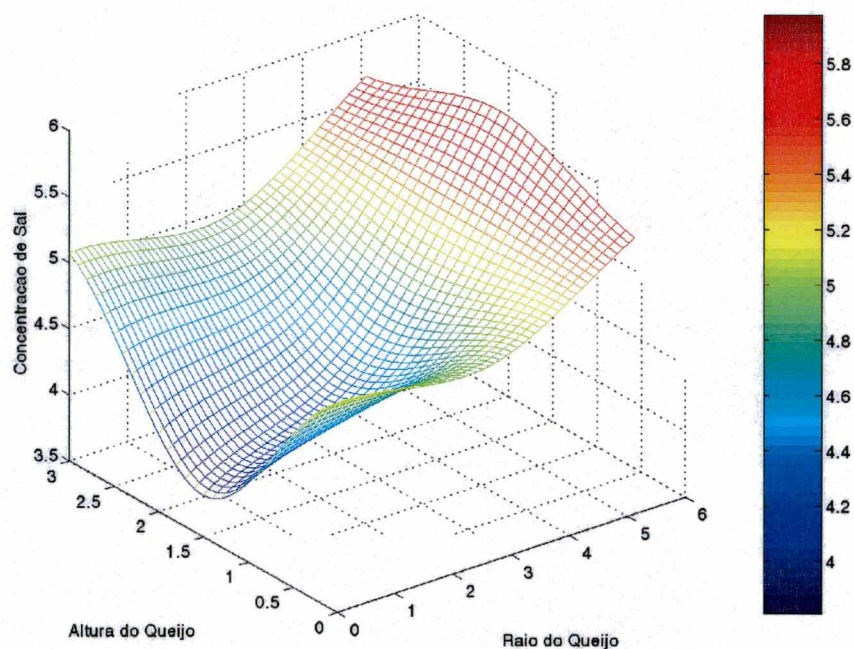


Figura 4.14 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP1, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 2 horas. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga .

Considerando os resultados acima, procederam-se os ensaios com a mesma intensidade de vácuo, aplicado de forma intermitente, porém os tempos de impregnação foram reduzidos para 30, 20 e 15 minutos. Os perfis de concentrações dos ensaios (EP2, EP3A, EP3B, EP4A, EP4B e EP4C) podem ser visualizados abaixo.



Tabela 4.4 - Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP2, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 30 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga.

Amostra	% NaCl (Tit. 1)	% NaCl (Tit. 2)	% NaCl (Tit.3)	Média (%NaCl)
E1	3,45	3,46	3,46	3,45
E2	3,29	3,25	3,30	3,28
E3	3,46	3,47	3,45	3,46
M1	2,62	2,64	2,63	2,63
M2	2,55	2,56	2,55	2,55
M3	2,63	2,63	2,64	2,63
I1	2,25	2,23	2,24	2,24
I2	2,07	2,08	2,08	2,08
I3	2,24	2,25	2,27	2,25

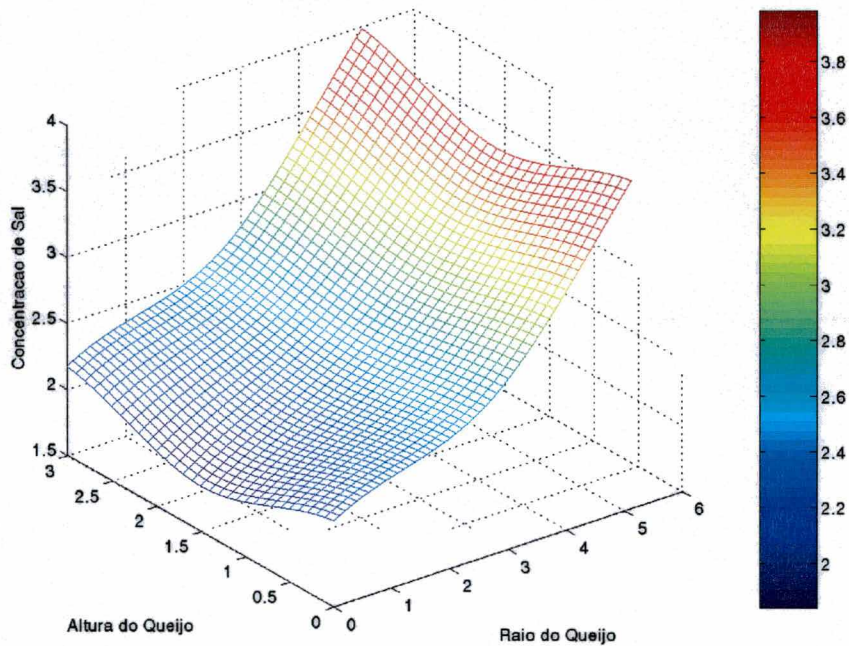


Figura 4.15 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP2, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 30 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga .

Tabela 4.5 - Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP3A, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 20 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga.

Amostra	% NaCl (Tit. 1)	% NaCl (Tit. 2)	% NaCl (Tit.3)	Média (%NaCl)
E1	2,85	2,87	2,86	2,86
E2	2,86	2,85	2,85	2,85
E3	2,84	2,86	2,87	2,86
M1	1,50	1,51	1,52	1,51
M2	1,38	1,40	1,40	1,39
M3	1,51	1,50	1,52	1,51
I1	1,27	1,23	1,20	1,23
I2	1,07	1,09	1,09	1,08
I3	1,27	1,24	1,14	1,22

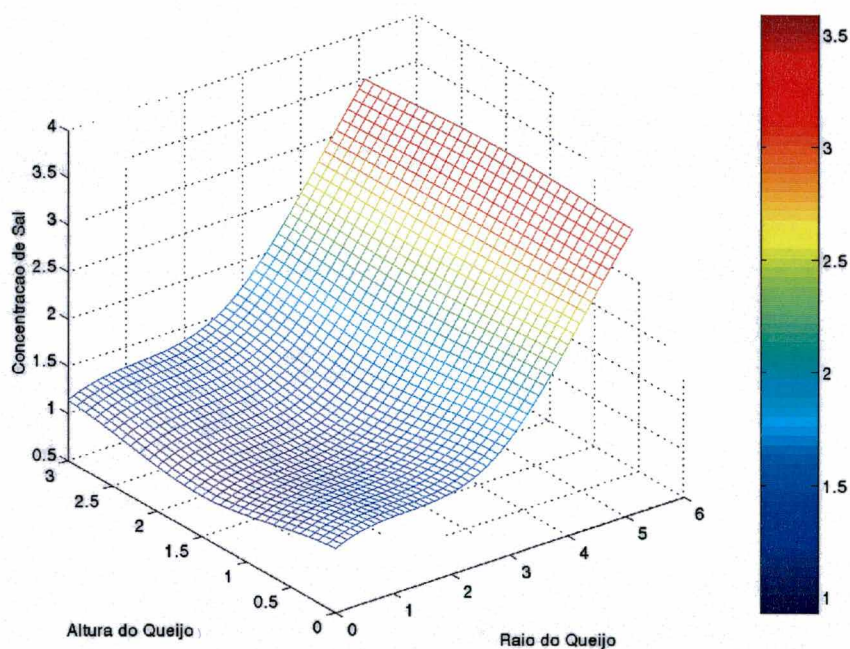


Figura 4.16 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP3A, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 20 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga .

Tabela 4.6 - Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP3B, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 20 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga.

Amostra	% NaCl (Tit. 1)	% NaCl (Tit. 2)	% NaCl (Tit.3)	Média (%NaCl)
E1	2,80	2,81	2,82	2,81
E2	2,79	2,77	2,83	2,80
E3	2,84	2,83	2,80	2,82
M1	1,41	1,39	1,38	1,39
M2	1,37	1,38	1,35	1,37
M3	1,40	1,37	1,38	1,38
I1	1,11	1,12	1,07	1,10
I2	1,05	1,04	1,07	1,06
I3	1,10	1,20	1,09	1,13

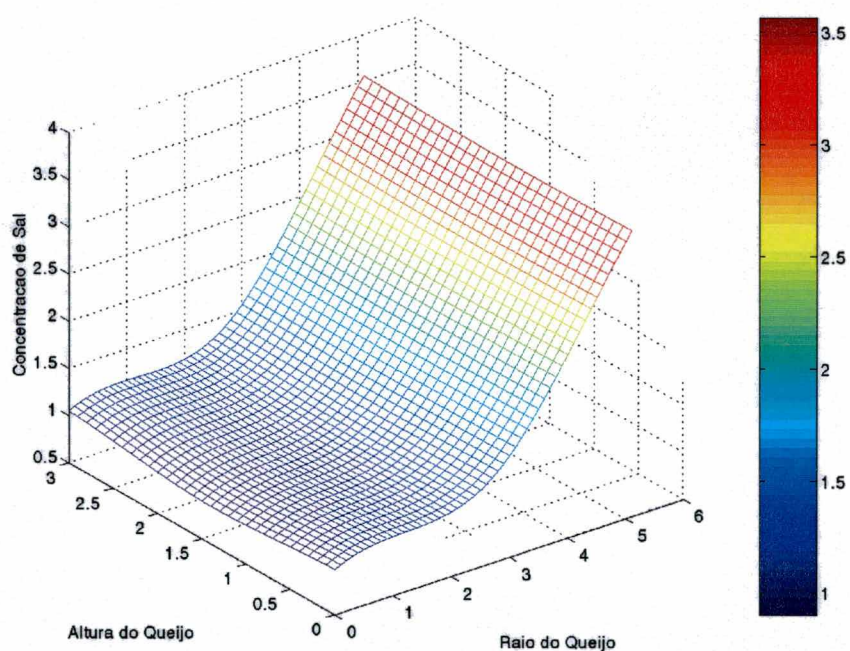


Figura 4.17 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP3B, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 20 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga .

Tabela 4.7 - Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP4A, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 0h após a etapa de salga.

Amostra	% NaCl (Tit. 1)	% NaCl (Tit. 2)	% NaCl (Tit.3)	Média (%NaCl)
E1	2,03	2,34	2,29	2,22
E2	2,13	2,08	2,10	2,10
E3	2,16	2,18	2,16	2,17
M1	1,13	1,11	1,12	1,12
M2	0,78	0,77	0,78	0,78
M3	1,13	1,12	1,13	1,13
I1	1,09	1,12	1,11	1,11
I2	0,69	0,70	0,70	0,70
I3	1,10	1,10	1,11	1,10

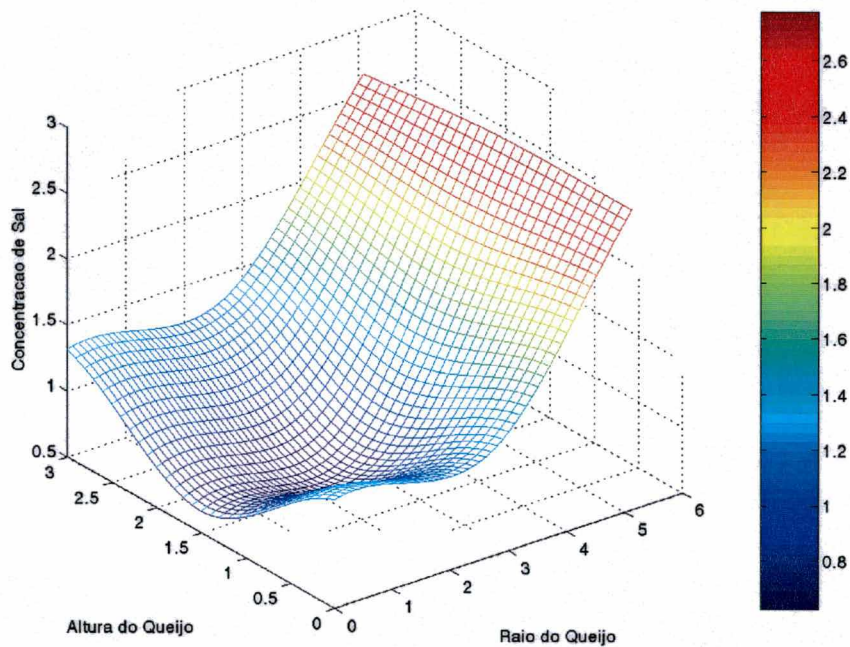


Figura 4.18 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP4A, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 0h após a etapa de salga.

Tabela 4.8 - Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP4B, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga.

Amostra	% NaCl (Tit. 1)	% NaCl (Tit. 2)	% NaCl (Tit.3)	Média (%NaCl)
E1	2,14	2,17	2,10	2,14
E2	2,03	1,75	1,87	1,88
E3	2,15	2,16	2,15	2,15
M1	1,13	1,12	1,13	1,13
M2	0,72	0,78	0,76	0,76
M3	1,11	1,13	1,13	1,12
I1	1,12	1,14	1,13	1,13
I2	0,67	0,71	0,70	0,69
I3	1,14	1,11	1,12	1,12

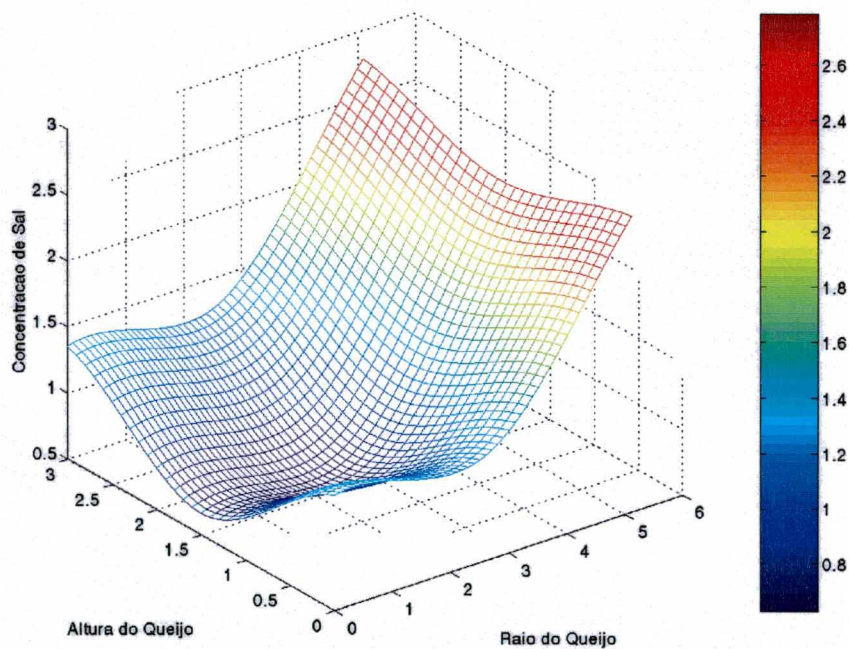


Figura 4.19 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP4B, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 24h após a etapa de salga.

Tabela 4.9 - Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EP4C, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 7 dias após a etapa de salga.

Amostra	% NaCl (Tit. 1)	% NaCl (Tit. 2)	% NaCl (Tit.3)	Média (%NaCl)
E1	2,15	2,16	2,15	2,15
E2	2,08	2,04	2,06	2,06
E3	2,18	2,15	2,15	2,16
M1	1,16	1,11	1,14	1,14
M2	0,76	0,75	0,75	0,75
M3	1,12	1,13	1,14	1,13
I1	1,14	1,15	1,16	1,15
I2	0,72	0,70	0,69	0,70
I3	1,12	1,17	1,14	1,14

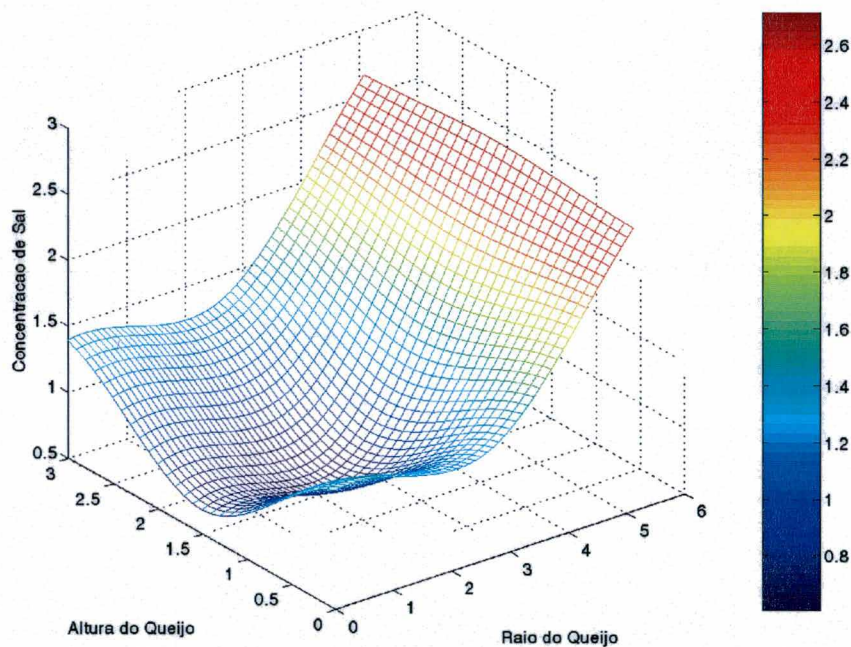


Figura 4.20 - Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EP4C, onde se aplicou vácuo de forma intermitente durante 15 min. As análises de concentração de NaCl foram realizadas 7 dias após a etapa de salga.

De acordo com os resultados dos experimentos apresentados nas figuras anteriores, conclui-se que, na operação de salga, o queijo minas frescal com solução de salmoura a 22% em massa, e vácuo intermitente de 640 mmHg, deve ser realizada em 15 min. Para este tempo de

salga a vácuo, obteve-se uma concentração média de sal no queijo da ordem de 1,6%. Os perfis de concentração das salgagens realizadas a vácuo durante 30 e 20 min, mostraram concentrações de sal muito elevadas.

A reprodutibilidade dos perfis de concentração de NaCl, quando se aplica vácuo, pode ser constatada através das figuras 4.16 e 4.17, representando os experimentos EP3A e EP3B, que foram realizados sob as mesmas condições de operação e com o mesmo tempo transcorrido entre a etapa de salga e as análises.

#### 4.2.4. Impregnação à Pressão Atmosférica: Perfis de Concentração de NaCl

A salga da amostra EPSV foi realizada de maneira convencional (durante 6 horas), o queijo foi preparado para as análises de acordo com o item 3.4.5 e os perfis de concentração do sal no queijo foram determinados conforme a metodologia analítica descrita no capítulo 3. Os resultados encontram-se relacionados na tabela 4.9 e podem ser visualizados através da figura 4.21.

Tabela 4.10 - Perfis de concentração de NaCl do queijo referente ao ensaio EPSV, a salga foi realizada durante 6h a pressão atmosférica e as análises de concentração de NaCl ocorreram 24h após a etapa de salga.

Amostra	% NaCl (Tit. 1)	% NaCl (Tit. 2)	% NaCl (Tit.3)	Média (%NaCl)
E1	5,14	5,26	5,16	5,19
E2	4,37	4,39	4,33	4,36
E3	5,37	5,35	5,24	5,32
M1	3,41	3,45	3,36	3,41
M2	1,57	1,54	1,61	1,57
M3	3,39	3,46	3,49	3,44
I1	2,93	2,93	2,92	2,93
I2	0,88	0,91	0,93	0,91
I3	3,04	2,91	2,99	2,98

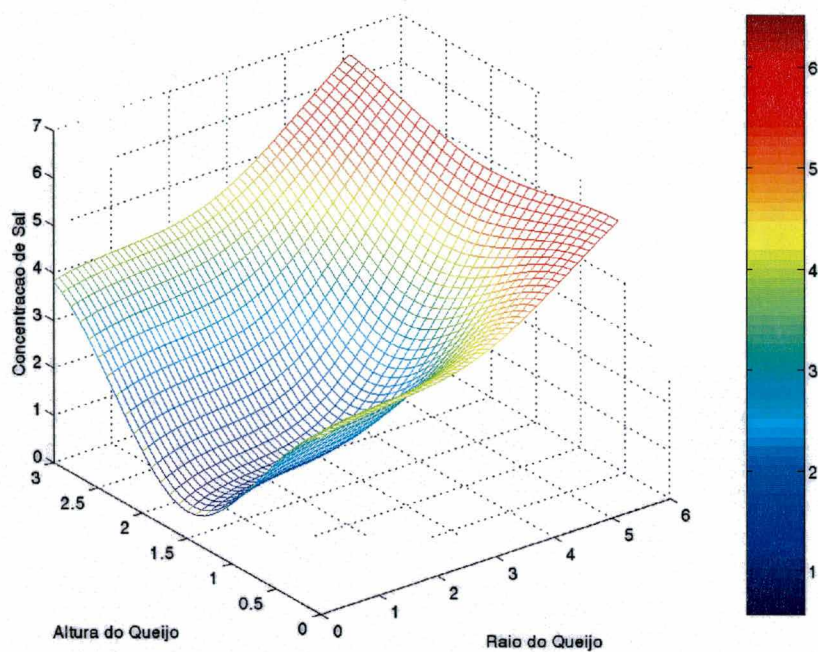


Figura 4.21- Visualização dos perfis de concentração de NaCl numa fatia de queijo do ensaio EPSV, a salga foi realizada durante 6h a pressão atmosférica e as análises de concentração de NaCl ocorreram 24h após a etapa de salga.

Utilizando o processo de salga convencional durante 6 horas, a concentração média de sal no queijo é de aproximadamente 3,8%. A grande variação das concentrações de sal no queijo pode ser observada neste experimento realizado a pressão atmosférica.

Na indústria o tempo de salga convencional do queijo minas frescal (de forma cilíndrica e com massa de aproximadamente 500g), utilizando tanques de salmoura a pressão atmosférica, varia de 1,5 à 2h (MOORE, 1997).



#### 4.2.5. Comparação entre os Perfis de Concentração de NaCl nos Queijos

Na Figura 4.22, apresenta-se uma comparação dos perfis de concentrações dos queijos salgados através da maneira convencional e por impregnação a vácuo. Nos ensaios utilizados para esta comparação, todas as análises quantitativas das concentrações de sal foram realizadas 24 horas após a etapa de salga. Nesta figura é possível observar as concentrações de cada parte dos queijos.

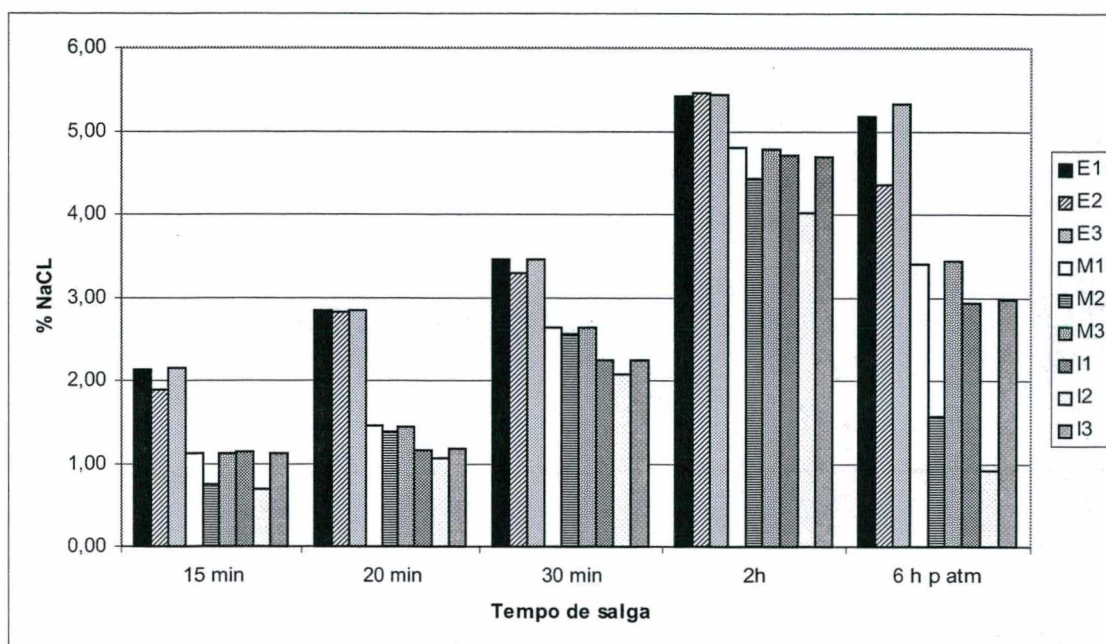


Figura 4.22 - Comparação dos perfis de concentrações de NaCl nos queijos minas frescal, obtidas através de condições distintas do processo de salga. As análises destes queijos foram realizadas 24h após a etapa de salga.

Constata-se que as amostras (partes) dos queijos que estão em contato direto com a salmoura apresentam uma concentração de sal mais elevada do que as amostras internas. Isto ocorre porque próximo das superfícies, a migração de sal é facilitada pela menor resistência ao escoamento.

A aplicação do vácuo realmente reduz o tempo de salga de um queijo minas frescal. Durante duas horas de aplicação de vácuo em forma de pulsos, obteve-se um queijo com concentração média de 5% e durante seis horas de salga tradicional a concentração média de sal não ultrapassou 4%.

A salga a vácuo promove uma distribuição de sal mais uniforme no produto, o que pode ser observado através da comparação dos perfis de concentração em cada anel do queijo impregnado a vácuo e do queijo salgado de forma tradicional, figura 4.22. O interior do produto obtido através da salga tradicional apresenta uma concentração de sal cinco vezes menor do que a superfície.

#### 4.2.6. Comparação entre as Concentrações Médias de NaCl nos Queijos

As concentrações médias de sal nos queijos, analisadas após 24 horas da etapa de salga, podem ser observadas na Figura 4.23. Estas concentrações médias foram obtidas a partir das frações ponderais de cada amostra de queijo. A figura indica que um processo de salga utilizando pulsos de vácuo durante duas horas resulta num queijo com alto teor de sal. Para obter uma concentração de NaCl de aproximadamente 1,6% deve-se proceder a salga a vácuo, de forma intermitente, durante 15 minutos.

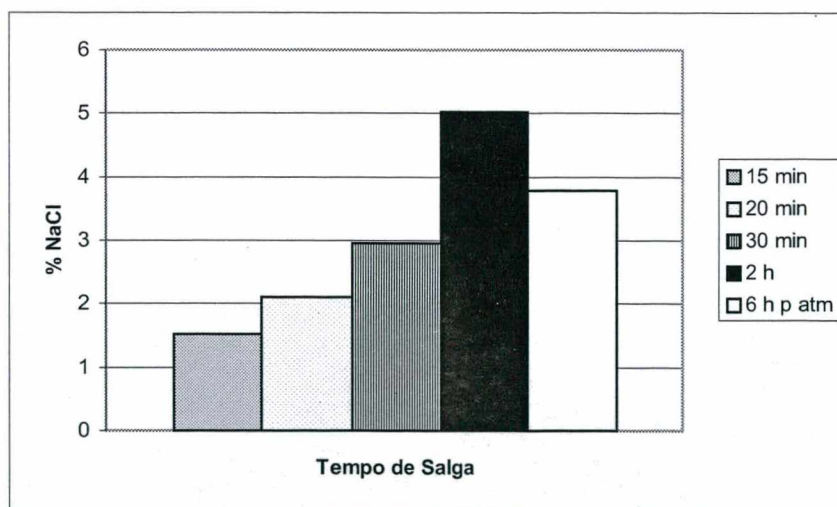


Figura 4.23 - Comparação entre as concentrações médias de NaCl nos queijos minas frescal, obtidas através de condições distintas do processo de salga. As análises destes queijos foram realizadas 24h após a etapa de salga.

#### 4.2.7. Verificação da Variação da Concentração de NaCl nos Queijos durante a Estocagem

A variação dos perfis de concentração de NaCl durante o processo de estocagem do queijo foi avaliada. Realizaram-se análises quantitativas da concentração de sal a 0 horas, 24 horas e 7 dias após o processo de salga. As figuras 4.18, 4.19 e 4.20, mostram que praticamente não ocorreu variação nos perfis de concentração do sal no interior do produto. Isto sugere que o processo de salga a vácuo no queijo minas frescal ocorre principalmente devido ao Mecanismo Hidrodinâmico (HDM). Analisando a figura 4.24, pode-se constatar que a influência do mecanismo difusivo é quase inexistente durante o tempo de estocagem do produto.

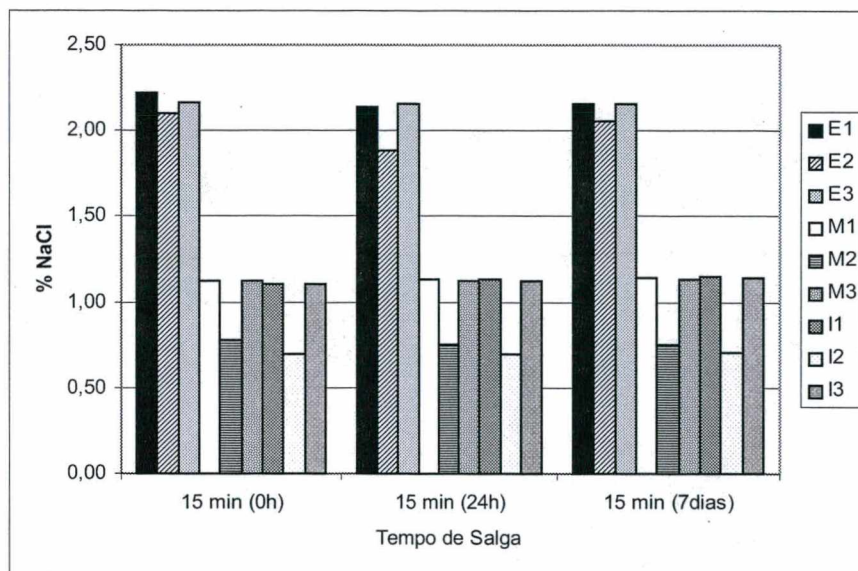


Figura 4.24 - Comparação entre as concentrações médias de NaCl nos queijos minas frescal, obtidas a partir do processo de salga realizado durante 15 min aplicandose vácuo de forma intermite . As análises quantitativas destes queijos foram realizadas 0h, 24h e 7 dias após a etapa de salga.

### **4.3. Comparação entre os Ensaio com Queijo Minas Frescal Utilizando Solução Colorida e os Ensaio de Determinação dos Perfis de Concentração de NaCl**

Os resultados visuais da impregnação do queijo minas frescal, utilizando salmoura colorida a 22% em massa, sugerem que para ocorrer impregnação, a matriz sólida deve ser submetida ao vácuo intermitente de 640 mmHg durante duas horas. Nos ensaios para determinação da concentração de sal, inicialmente o queijo foi impregnado sob as condições ótimas de processo obtidas nos experimentos com azul de metileno (ensaio EP1). Porém, as análises quantitativas do queijo apresentaram uma concentração média de sal elevada, em torno de 5%.

A comparação destes dois experimentos, sugere que, durante a impregnação da solução de salmoura colorida com azul de metileno no queijo, ocorre uma separação das soluções de azul de metileno e de cloreto de sódio. Ou seja, ocorre inicialmente a entrada de solução salina e depois de algum tempo a entrada da solução de azul de metileno. Esta constatação não invalida os parâmetros estudados na primeira parte deste trabalho, porém as variáveis ótimas do processo de salga do queijo a vácuo devem ser determinadas a partir da concentração média de NaCl na matriz sólida do alimento.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo permitiu verificar o comportamento do queijo Minas frescal e de duas frutas frente à impregnação a vácuo. Os resultados obtidos nesta pesquisa permitiram elaborar as seguintes conclusões:

- As bases teóricas do Mecanismo Hidrodinâmico (HDM) e dos Fenômenos de Deformação-Relaxação explicam parcialmente os resultados obtidos nos experimentos realizados neste estudo. Como o HDM é um modelo que considera a condição de equilíbrio mecânico, o mesmo não pode dar conta da influência do tempo de contato no processo de impregnação. Trata-se de uma importante limitação deste modelo.
- A aplicação do vácuo durante as operações num sistema sólido-líquido pode afetar sensivelmente a cinética de transferência de massa, reduzindo o tempo de contato necessário entre as fases líquida e sólida.
- A microestrutura do alimento, a porosidade, o tamanho, a distribuição e comunicação dos poros afetam a cinética da impregnação. Alimentos porosos e com poros interconectados apresentam uma maior impregnação de solução no interior da matriz sólida do que os alimentos pouco porosos e com poros não conectados. A maçã, sendo porosa e possuindo poros interconectados, foi mais adequada ao processo de impregnação a vácuo do que o abacaxi, que possui poros grandes, uma estrutura celular diferente da maçã e apresenta, provavelmente, poros não interconectados.
- Para uma eficiência maior do processo de impregnação de alimentos com características plásticas, deve-se proceder à aplicação do vácuo de maneira intermitente, favorecendo a ocorrência do mecanismo de relaxação-deformação nos poros da matriz sólida.
- O processo de salga a vácuo em queijos deve ser realizado logo após a etapa de prensagem, porque a idade do queijo influencia a intensidade de impregnação. Queijos mais velhos apresentam poros mais fechados e, conseqüentemente, a impregnação a vácuo será menos eficiente.
- A salga a vácuo promove uma distribuição de sal mais uniforme no produto final se comparado com a salga convencional.

- A impregnação a vácuo é uma aplicação que pode se tornar comercial em breve, pois sua aplicação é simples e com custos de operação aceitáveis.

É importante salientar que este trabalho iniciou uma nova linha de pesquisa no departamento de Engenharia Química e de Alimentos, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E, promoveu o estudo de novas tecnologias de transferência de massa em produtos nacionais visando, futuramente, otimizar o processo de transferência sólido-líquido nas indústrias de alimentos.

Com o intuito de complementar este trabalho e, futuramente, aplicar esta nova tecnologia nas indústrias deve-se:

- Aprofundar o estudo das variáveis do processo de salga a vácuo e testar esta nova tecnologia em planta piloto, visando verificar a viabilidade tecnológica da mesma;
- Promover o estudo do comportamento de outros alimentos e soluções a serem impregnados frente ao Mecanismo Hidrodinâmico (HDM), ampliando a aplicabilidade da impregnação a vácuo. Sugere-se testar esta tecnologia na impregnação de substâncias no interior de produtos sólidos, obtendo-se alimentos funcionais.

ANDRÉS, A.; FITO, P. & CHIRALT, A. **Impregnacion a Vacio em Alimentos Porosos. Aplicacion al Salado de Quesos.** Universidad Politecnica de Valencia, Valencia (España), 187pp., 1995.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (A.O.A.C). **Official Methods of Analysis of AOAC International.** V.2, ed.16, p.58-71, 1995.

AZEREDO, H.M.C. & JARDINE, J.G. **Desidratação Osmótica de Abacaxi Aplicada à Tecnologia de Métodos Combinados.** *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, v.20, no.1, p.78-82, 2000.

BARAT, J. M.; FITO, P. & CHIRALT, A. **Modeling of Simultaneous Mass Transfer and Strutral Changes in Fruit Tissues.** *Journal of Food Engineering*, v.49, p.77-85, 2001.

CHÁFER, M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; CHIRALT, A. & FITO, P. **Microestructure and Vacuum Impregnation Response of Citrus Peels.** *Food Research International*, v.36, p.35-41, 2003.

CHIRALT, A.; FITO, P.; BARAT, J.M.; ANDRÉS, A.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; ESCRICHE, I. & CAMACHO, M.M. **Use of Vacuum Impregnation in Food Salting Process.** *Journal of Food Engineering*, v.49, p.141-151, 2001.

FITO, P. **Modelling of Vacuum Osmostic Dehydration of Food.** *Journal of Food Engineering*, v.22, p.313-328, 1994.

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

FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J.M.; ANDRÉS, A. ; MARTÍNEZ-MONZÓ, J. & MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. **Vacuum Impregnation for Development of New Dehydrated Products.** *Journal of Food Engineering*, v.49, p.297-302, 2001.

FITO, P.; CHIRALT, A.; BETORET, N.; GRAS, M.; CHÁFER, M.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; ANDRÉS, A. & VIDAL, D. **Vacuum Impregnation and Osmotic Dehydration in Matrix Engineering. Application in Functional Fresh Food Development.** *Journal of Food Engineering*, v.49, p.175-183, 2001.

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

FURTADO, M. M. **A Arte e a Ciência do Queijo.** 2.ed. Editora Globo S.A., São Paulo (Brasil), 297pp., 1991.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P. & CHIRALT, A. **Influence of Sucrose Solution Concentration on Kinetics and Yield During Osmotic Dehydration of Mango.** *Journal of Food Engineering*, v. 58, p. 33-43, 2003.

GONZALES, C., FUENTES, C., ANDRÉS, A., CHIRALT, A. & FITO, P. **Effectiveness of Vacuum Impregnation Brining of Manchego-Type Curd.** *International Dairy Journal*, v.9, p.143-148, 1999.

GONZÁLEZ-MARTINEZ, C.; CHAFER, M.; FITO, P. & CHIRALT, A. **Development of Salt Profiles on Manchego Type Cheese During Brining. Influence of Vacuum Pressure.** *Journal of Food Engineering*, v.53, p.67-73, 2002.

GRAS, M.; VIDAL-BROTÓNS, D.; BETORET, N.; CHIRALT, A. & FITO, P. **The Response of Some Vegetables to Vacuum Impregnation.** *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.3, p.263-269, 2002.



GUAMIS, B.; TRUJILLO, A. J.; FERRAGUT, V.; CHIRALT, A.; ANDRES, A. & FITO, P. **Ripening Control of Manchego Type Cheese Salted by Brine Vacuum Impregnation.** *International Dairy Journal*, v.7, p. 185-192, 1997.

HANSELMAN, D. e LITTLEFIELD, B. **MATLAB: Versão do Estudante – Guia do Usuário.** Versão 4. Ed. Makron Books, São Paulo (Brasil), 305pp., 1997.

ISMAIL, K. A. R. **Técnicas de Medidas e Instrumentação em Engenharia.** Apostila: UNICAMP (Faculdade de Engenharia de Campinas). Universidade Estadual de Campinas, Campinas (Brasil), 130pp., 1986.

LEWIS, M. J. **Propriedades de los Alimentos y de los Sistemas de Processado.** Ed. Acribia, Zaragoza (España), 1993.

MARCOS, A.; ALCALÁ, M.; LÉON, F., FERNÁNDEZ-SALGUERO, J. & ESTEBAN, M.A. **Water Activity and Chemical Composition of Cheese.** *Journal of Dairy Science*, v.64, p.622-626, 1981.

MESSENS, W., DEWETTINCK, K. & HUYGHEBAERT, A. **Transport of Sodium Chloride and Water in Gouda Cheese as Affected by High-Pressure Brining.** *International Dairy Journal*, v.9, p.569-576, 1999.

MOORE, G. R. P. **Relatório de Estágio – Laticínio Tirol LTDA.** Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Química. Florianópolis (Brasil), 57pp., 1997.

MÚJICA-PAZ, H.; VALDEZ-FRAGOSO, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E. & WELTI-CHANES, J. **Impregnation Properties of Some Fruits at Vacuum Pressure.** *Journal of Food Engineering*, v.56, p.307-314, 2003.

OLIVEIRA, J.S. **Queijos: Fundamentos Tecnológicos**. 2.ed. Editora Ícone LTDA, São Paulo (Brasil), 146pp., 1987.

PAVIA, M.; GUAMIS, B.; TRUJILLO, A. J.; CAPELLAS, M. & FERRAGUT, V. **Changes in Microestructural, Textural and Colour Characteristics During Ripening of Manchego-Type Cheese Salted by Brine Vacuum Impregnation**. *International Dairy Journal*, v.9, p.91-98, 1999.

PAVIA, M.; TRUJILLO, A. J.; GUAMIS, B. & FERRAGUT, V. **Ripening Control of Salt-Reduced Manchego-Type Cheese Obtained by Brine Vacuum-Impregnation**. *Food Chemistry*, v.70, p.155-162, 2000.

PAYNE, M.R. & MORISON, K.R. **A Multi-Component Approach to Salt and Water Diffusion in Cheese**. *International Dairy Journal*, v.9, p.887-894, 1999.

PERRY, R. H. & GREEN, D.W. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. McGraw Hill, 1999.

PREGNOLATTO, W. & PREGNOLATO, N. P. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz – Métodos Químicos e Físicos para a Análise de Alimentos**. Instituto Adolfo Lutz, 3ª ed, São Paulo (Brasil), 1985.

ROSA, M.D. & GIROUX, F. **Osmotic Treatments (OT) and Problems Related to Solution Management**. *Journal of Food Engineering*, v.49, p.223-236, 2001.

SACCHETTI, G.; GIANOTTI, A. & ROSA, M.D. **Sucrose-Salt Combined Effects on Mass Transfer Kinetics and Product Acceptability. Study on Apple Osmotic Treatments**. *Journal of Food Engineering*, v.49, p.163-173, 2001.

SALVATORI, D.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A. & FITO, P. **Osmotic Dehydration Progression in Apple Tissue I: Spatial Distribution of Solutes and Moisture Content.** *Journal of Food Engineering*, v.42, p.125-132, 1999.

SALVATORI, D.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A. & FITO, P. **Osmotic Dehydration Progression in Apple Tissue II: Generalized Equations for Concentration Prediction.** *Journal of Food Engineering*, v.42, p.133-138, 1999.

SCOTT, R. **Fabricación de Queso.** 1.ed. Editora Acribia S.A., Zaragoza (España), 520pp., 1991.

SHI, X.Q. & FITO, P. **Vacuum Osmotic Dehydration of Fruits.** *Drying Technology*, v.11, no.6, 1429-1442, 1993.

SHI, X.Q. & FITO, P. **Mass Transfer in Vacuum Osmotic Dehydration of Fruits: A Mathematical Model Approach.** *Lebensmittel – Wissenschaft Und – Technologie*, v.27, p.67-72, 1994.

SHI, X.Q.; FITO, P. & CHIRALT, A. **Influence of Vacuum Treatment on Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Fruits.** *Food Research International*, v. 28, no.5, p.445-454, 1995.

SILVA, R. S. F.; BORSATO, D. & SILVA, L. H. 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 dos Alimentos*, v.18, 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.

TURHAN, M. & KALETUNÇ, G. **Modeling of Salt Diffusion in White Cheese During Long-Term Brining.** *Journal of Food Science*, v.57, no.5, p.1082-1085, 1992.

ZORRILLA, S. E. & RUBIOLO, A. C. **Average NaCl Concentration in Cheese for Different Volume Ratios of Brine and Solid during Salting.** *Journal of Food Science*, v.56, no.6, p.1548-1551, 1991.

ZORRILLA, S. E. & RUBIOLO, A. C. **Modeling NaCl and KCl Movement in Fynbo Cheese During Salting.** *Journal of Food Science*, v.59, no.5, p.976-980, 1994.