

Fernanda Rosa Assis

**DESIDRATAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA  
DE MAÇÃS IMPREGNADAS COM LACTATO DE CÁLCIO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. João Borges Laurindo

Coorientador: Prof. Dr. Bruno Augusto Mattar Carciofi

Florianópolis  
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Assis, Fernanda Rosa  
DESIDRATAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE MAÇÃS  
IMPREGNADAS COM LACTATO DE CÁLCIO / Fernanda Rosa Assis ;  
orientador, João Borges Laurindo ; co-orientador, Bruno  
Augusto Mattar Carciofi. - Florianópolis, SC, 2013.  
102 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Alimentos.

Inclui referências

1. Engenharia de Alimentos. 2. Impregnação a vácuo. 3.  
Maçã. 4. Cálcio. 5. Secagem convectiva. I. Laurindo, João  
Borges. II. Carciofi, Bruno Augusto Mattar. III.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

Fernanda Rosa Assis

**DESIDRATAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-  
QUÍMICA DE MAÇÃS IMPREGNADAS COM LACTATO DE  
CÁLCIO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Alimentos, área de Concentração 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.

Florianópolis, 30 de Abril de 2013.

---

Prof. João Borges Laurindo, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. João Borges Laurindo, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Luismar Marques Porto, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Haiko Hense, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Franciny Campos Schmidt, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina



Dedico este trabalho à minha família.



## AGRADECIMENTOS

A Deus por essa oportunidade e estar sempre ao meu lado em todos os momentos dessa caminhada.

Ao meu orientador Prof. Dr. João Borges Laurindo e coorientador Prof. Dr. Bruno Augusto Mattar Carciofi pela orientação e ensinamento concedido nesses anos.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Aos meus amigos do PROFI: Martinha, Bárbara, Gustavo, Giustino, Jhony, Daniel, Jaque, Juca, Cris, Kessi, Lindomar, Marieli pela companhia, prestatividade e pelos momentos de descontração no laboratório, que tornaram os dias difíceis mais alegres. Em especial à Fran pela atenção e pelos ensinamentos.

Aos meus amigos de mestrado Dani, Leno, Pedro, Glenise e Gláucia, obrigada pela amizade.

Às minhas queridas ICs, Paula e Amanda pela ajuda prestada, isso aqui é um pouco de vocês.

À Marlene por me ouvir nos momentos de desabafo e por compartilhar o equipamento para a realização dos experimentos. Vou sentir saudades.

Ao Jean pelo carinho, amizade, companhia nos momentos de alegria e de tristeza e por estar sempre disposto a me ajudar. Não tenho nem palavras para agradecer.

Aos amigos que mesmo estando longe sempre torceram por mim.

Aos amigos que fiz durante essa caminhada.

Ao Feliipe pelo amor, carinho e por sempre estar ao meu lado.

À minha família por todo apoio, amor, carinho e força. Se não fosse vocês tudo seria mais difícil.





“Ninguém cruza nosso caminho por acaso e nós não entramos na vida de ninguém sem nenhuma razão”.

(Chico Xavier)



## RESUMO

A impregnação a vácuo (IV) de alimentos porosos consiste na troca do gás e/ou líquido aprisionados dentro dos poros por um líquido externo, promovida pela aplicação de vácuo e posterior restabelecimento da pressão atmosférica no recipiente em que o alimento está imerso no líquido impregnante. A incorporação de cálcio em frutas é uma alternativa para desenvolver novos produtos, oferecendo novas fontes de cálcio. O objetivo deste trabalho foi desidratar e avaliar as características físico-químicas de maçãs impregnadas com lactato de cálcio. Assim, as maçãs foram previamente branqueadas e submetidas a diferentes tratamentos antes da secagem em estufa com circulação e renovação de ar a 60 °C: 1) combinação de branqueamento seguido de IV com lactato de cálcio; 2) combinação de branqueamento seguido de IV e aplicação de pulso de vácuo com a amostra fora da solução (visando a drenagem parcial da solução e redução da umidade antes da secagem). Na IV, pressões de vácuo de 100 (B+IV100) e 300 (B+IV300) mbar foram aplicadas durante 10 minutos, seguidas do restabelecimento da pressão atmosférica (10 minutos) no recipiente contendo as amostras imersas na solução com 1 % de lactato de cálcio. Os pulsos de vácuo com as amostras fora da solução foram com pressões absolutas de 50 (B+IV100+PV50) e 250 (B+IV300+PV250) mbar, aplicadas para amostras impregnadas submetidas às pressões de 100 e 300 mbar, respectivamente. A influência dos diferentes tratamentos aplicados nas amostras foi determinada por medidas de umidade, pH, concentração de sólidos solúveis, atividade de água e variação de massa. No processo de IV e IV seguida de pulso de vácuo, foi investigada a influência da intensidade de vácuo na variação de massa e cinética de impregnação. As amostras *in natura* apresentaram umidade de 5,58 g água/g sólidos secos. As amostras branqueadas tiveram a umidade reduzida para 5,37 g água/g sólidos secos. A umidade das amostras submetidas à IV e à IV seguida de pulso de vácuo aumentou em relação à *in natura* para 7,28, 7,31, 6,88 e 7,14 g água/g sólidos secos, para as amostras B+IV100, B+IV300, B+IV100+PV50 e B+IV300+PV250, respectivamente, e não apresentaram diferenças significativas entre si. As amostras impregnadas B+IV100 e B+IV300 ganharam 2,5 e 1,4 % de massa, respectivamente, em relação às amostras branqueadas. As amostras submetidas a IV seguida de pulso de vácuo perderam 2,9 % (B+IV100+PV50) e 2,6 % (B+IV300+PV250) de massa quando comparadas as amostras apenas impregnadas. Quanto à

variação de massa ao longo do processo de IV foi observado um incremento de massa devido à impregnação dos poros pela solução impregnante. As amostras submetidas ao processo de branqueamento e amostras *in natura* atingiram a umidade de equilíbrio em tempos diferentes devido ao dano causado na parede das células que facilita a retirada de umidade. No entanto, a umidade inicial das amostras não interferiu no tempo de secagem, sendo que o pulso de vácuo aplicado após a impregnação não alterou a condição final de equilíbrio. Os ensaios mecânicos não indicaram diferenças nos dados de força-deformação entre as amostras *in natura* e tratadas. A concentração de cálcio aumentou em 9 vezes em amostras impregnadas, mas a intensidade do vácuo na IV não implicou em diferenças notáveis da concentração de cálcio nas amostras. No entanto, a aplicação do pulso de vácuo com a amostra fora da solução reduziu a concentração de cálcio em 35 % quando a pressão de 50 mbar foi aplicada. As microscopias eletrônicas de varredura das amostras impregnadas permitiram observar a ruptura na estrutura em amostras que foram branqueadas e o preenchimento da matriz porosa com a solução de lactato de cálcio. Sendo assim, os resultados deste estudo representam uma alternativa para a produção de frutas fortificadas com cálcio e um novo produto com elevado valor agregado.

**Palavras chave:** maçã, impregnação a vácuo, cálcio, secagem convectiva.

## ABSTRACT

Vacuum impregnation (VI) of porous foods consists of the exchanging of the gas and/or liquid contained in the product pores with another external liquid, promoted by vacuum applications and subsequent restoration of atmospheric pressure in the container in which the food is immersed in the impregnant liquid. Incorporation of calcium in fruits is an alternative to develop new products, providing new sources of calcium. The aim of this study was dehydrate and evaluate physicochemical characteristics of impregnated apples with calcium lactate. Apples were previously blanched and submitted to different treatments before drying in a convective oven at 60 °C: 1) combination of blanching followed by calcium vacuum impregnation (B+IV); 2) combination of blanching and VI followed by vacuum pulse with the sample out of the solution (B+IV+VP). This step aimed to drain part of the solution and decrease the moisture before drying. For VI, the apples were immersed for 10 minutes in a solution with 1 % calcium lactate at the vacuum pressure of 100 (B+VI100) or 300 (B+VI300) mbar. Then, the atmosphere pressure was reestablished and maintained for 10 min. The vacuum pulse of 50 (B+IV100+VP50) and 250 (B+IV300+VP250) mbar was applied to the apples withdrawn from the solution for the samples impregnated at the pressures of 100 and 300 mbar, respectively. The effect of the applied treatments was determined measuring moisture content, pH, soluble solids, water activity and weight change on the treated samples. In VI and VI followed by vacuum pulse the effect of the vacuum intensity was investigated in the weight change and in the dynamics of VI process. The moisture content of the fresh samples was of 5.58 g water/g dry matter. Blanched samples showed moisture content of 5.37 g water/g dry matter. The moisture content of samples treated with VI and VI followed by a vacuum pulse increased with respect to the raw samples to 7.28 (B+VI100), 7.31 (B+VI300), 6.88 (B+IV100+VP50) and 7.14 (B+IV300+VP250) g water / g dry matter without any significant differences among them. The weight of impregnated samples increased 2.5 % (B+VI100) and 1.4 % (B+VI300) when compared the blanched samples. The weight of samples submitted to VI followed by vacuum pulse regarding impregnated samples decreased 2.9 % (B+IV100+VP50) and 2.6 % (B+IV300+VP250). By the measurement of the samples mass throughout the process, was observed increased mass due to impregnation of pores by external solution. The samples submitted to blanching process and fresh samples

reached the equilibrium moisture content at different times due to damage caused in the cell wall that facilitates the moisture removal. However, initial moisture content of the samples did not affect drying time and vacuum pulse applied after the vacuum impregnation did not change the final condition of equilibrium. Moreover, the initial moisture content presented a small influence on the drying time. The strain-force data obtained from the mechanical tests showed the same behavior for both samples. The calcium concentration increased in the impregnated samples (about 9 times), but the intensity of vacuum in the VI did not result in any significant differences. However, the application of vacuum pulse in samples out of the solution decreased the calcium concentration by 35 % when the pressure of 50 mbar was applied. The analysis of sample images obtained using a scanning electron microscope (SEM) showed the rupture in the structure of blanched samples and the porous impregnated with solution in impregnated samples. In this way, the results of this study represent an alternative for the production of fruit fortified with calcium and a new product with higher added value.

**Keywords:** apple, vacuum impregnation, calcium, convective drying.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Representação do mecanismo do HDM em um poro ideal (Fito, 1994. ....	32
<b>Figura 2</b> – Representação da ocorrência do HDM acoplado com o DRP em um poro ideal (Fito et al., 1996). ....	35
<b>Figura 3</b> – Diagrama do processo de secagem e migração de umidade no interior do sólido. ....	41
<b>Figura 4</b> – Curva típica de secagem. ....	42
<b>Figura 5</b> – Fluxograma das etapas do processamento das maçãs. ....	47
<b>Figura 6</b> – Representação esquemática do equipamento utilizado para IV. ....	50
<b>Figura 7</b> – Representação esquemática do equipamento utilizado para o estudo da cinética de IV. ....	53
<b>Figura 8</b> – Variação de massa em cada tratamento (em relação ao tratamento anterior) expressa em g por 100 g de maçã <i>in natura</i> . ....	59
<b>Figura 9</b> – Dados experimentais das pressões obtidas durante os processos e da cinética de IV das amostras branqueadas imersas em solução impregnante (1 % de lactato de cálcio (m/v)) submetidas a diferentes tratamentos. ....	60
<b>Figura 10</b> – Dados de secagem de maçãs em estufa com circulação de ar a 60 °C, umidade relativa de 20 % e velocidade do ar de 1 m/s a partir de amostras <i>in natura</i> e submetidas ao branqueamento, branqueamento e IV, e branqueamento e IV seguida de pulso de vácuo. ....	62
<b>Figura 11</b> – Dados de secagem de maçãs em estufa com circulação de ar a 60 °C, umidade relativa de 20 % e velocidade do ar de 1 m/s a partir de amostras <i>in natura</i> e submetidas ao branqueamento, branqueamento e IV, e branqueamento e IV seguida de pulso de vácuo. ....	63
<b>Figura 12</b> – Velocidade de secagem em função da umidade na secagem de maçãs em estufa com circulação de ar a 60 °C, umidade relativa de 20 % e velocidade do ar de 1 m/s a partir de amostras <i>in natura</i> , branqueadas, branqueadas e impregnadas a vácuo e branqueadas, impregnadas a vácuo seguida de pulso de vácuo. ....	67
<b>Figura 13</b> – Evolução da atividade de água das amostras <i>in natura</i> e tratadas pelo processo de branqueamento, branqueamento e impregnação a vácuo e branqueamento, impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo ao longo da secagem convectiva. ....	72
<b>Figura 14</b> – Força x deformação relativa de amostras <i>in natura</i> e tratadas pelo processo de branqueamento, branqueamento e	

impregnação a vácuo e branqueamento, impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo..... 73

**Figura 15** – Força x deformação relativa de amostras *in natura* e tratadas pelo processo de branqueamento, branqueamento e impregnação a vácuo e branqueamento, impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo e submetidas a secagem em estufa a 60 °C. .... 73

**Figura 16** – Micrografias da fratura das amostras de maçã: a) *in natura*, b) B, c) B+IV100, d) B+IV300, e) B+IV100+PV50 e f) B+IV300+PV250. .... 76



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Composição centesimal da maçã da variedade Fuji por 100 gramas de parte comestível. ....	28
<b>Tabela 2</b> – Características físico-químicas das maçãs <i>in natura</i> e tratadas pelo processo de branqueamento, impregnação a vácuo e impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo. ....	57
<b>Tabela 3</b> – Resultados dos ajustes do modelo de Page aos dados de secagem de maçãs. ....	66
<b>Tabela 4</b> – Efeito da intensidade do vácuo na concentração de cálcio de maçãs <i>in natura</i> e tratadas pelo processo impregnação a vácuo e impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo (previamente branqueadas) e submetidas a secagem em estufa a 60 °C. ....	74



## LISTA DE ABREVIATURAS

$a_w$  – Atividade de água

AI – Impregnação sob pressão atmosférica

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

DRP – Fenômeno de deformação-relaxamento

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

Fr – Força resultante

g – Aceleração da gravidade

IDR – Ingestão Diária Recomendada

IV – Impregnação a Vácuo

TACO – Tabela de Composições de Alimentos

HDM – Mecanismo Hidrodinâmico

ppm – partes por milhão (mg/kg)

UR – Umidade relativa

mg – miligrama

Mt – Massa total

Mss – Massa de sólidos secos

P – Pressão do vapor de água no sólido

Po – Pressão do vapor de água pura a mesma temperatura

R – Velocidade de secagem

V – Volume

VM – Variação de massa

w2 – Massa ao final de cada tratamento

w1 – Massa do tratamento anterior

w0 – Massa inicial

Xt – Umidade do sólido em base seca

Xeq – Umidade de equilíbrio

B – Amostras branqueadas

B+IV100 – Amostras branqueadas e impregnadas a vácuo a uma pressão de 100 mbar

B+IV300 – Amostras branqueadas e impregnadas a vácuo a uma pressão de 300 mbar

B+IV100+PV50 – Amostras branqueadas e impregnadas a vácuo a uma pressão de 100 mbar e submetidas ao pulso de vácuo a uma pressão de 50 mbar

B+IV300+PV250 – Amostras branqueadas e impregnadas a vácuo a uma pressão de 300 mbar e submetidas ao pulso de vácuo a uma pressão de 250 mbar



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
1.2 OBJETIVO.....	25
1.2.1 Objetivos Específicos.....	25
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>26</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>27</b>
2.1 MAÇÃ.....	27
2.2 CÁLCIO .....	29
2.3 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO.....	30
2.3.1 Modelo do Mecanismo Hidrodinâmico (Fito, 1994) .....	31
2.3.2 Modelo do acoplamento do HDM com o fenômeno de deformação-relaxação .....	34
2.3.3 Aplicações de IV na incorporação de sais de cálcio .....	39
2.4 SECAGEM.....	40
2.5 ATIVIDADE DE ÁGUA .....	44
2.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS - TEXTURA .....	45
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>47</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
3.1 PROCESSAMENTO DAS MAÇÃS.....	47
3.2 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICAS .....	48
3.3 DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DE MASSA (VM) DAS MAÇÃS TRATADAS.....	48
3.4 PREPARO DAS AMOSTRAS .....	49
3.5 BRANQUEAMENTO.....	49
3.6 PREPARO DA SOLUÇÃO IMPREGNANTE.....	49
3.7 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO.....	49
3.8 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO E IMPREGNAÇÃO A VÁCUO SEGUIDA DE PULSO DE VÁCUO FORA DA SOLUÇÃO ...	51
3.8.1 Influência da intensidade do vácuo aplicado.....	51
3.8.2 Influência da intensidade do vácuo aplicado durante o pulso de vácuo .....	51
3.9 CINÉTICA DO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO	51
3.10 SECAGEM CONVECTIVA.....	53
3.11 REPRESENTAÇÃO DOS DADOS DE SECAGEM POR EQUAÇÃO EMPÍRICA .....	54

3.12	MEDIDA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	54
3.13	DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO .....	54
3.14	CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL.....	55
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>		<b>57</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>		<b>57</b>
4.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS MAÇÃS <i>IN NATURA</i> E TRATADAS .....	57
4.2	VARIAÇÃO DE MASSA NO BRANQUEAMENTO, IV, IV SEGUIDA DE PULSO DE VÁCUO.....	58
4.3	CINÉTICA DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO.....	60
4.4	SECAGEM CONVECTIVA.....	61
4.5	ENSAIOS MECÂNICOS .....	72
4.6	DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO .....	74
4.7	CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL.....	76
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>		<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>80</b>
<b>ANEXO A.....</b>		<b>91</b>
<b>ANEXO B.....</b>		<b>97</b>

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina é o maior produtor nacional de maçãs, sendo responsável por 60 % da produção dessa fruta no Brasil. A maçã ocupa um lugar de destaque entre os produtos consumidos pela população e entre os diferentes tipos de matrizes vegetais apresenta bons resultados na impregnação a vácuo, devido à sua estrutura porosa e homogênea (PEREIRA, SIMIONI e CARIO, 2010).

Em matrizes vegetais, minerais e vitaminas podem ser incorporados por meio de processos de impregnação à pressão atmosférica, sob condições de vácuo ou por uma combinação de impregnação a vácuo seguida por grandes períodos à pressão atmosférica. O processo de impregnação a vácuo consiste na imersão de um produto poroso na solução impregnante, aplicando-se vácuo por um dado período de tempo ( $t_1$ ), ocasionando a saída de parte dos gases oclusos nos poros. Após o período de vácuo, a pressão atmosférica é restabelecida no sistema e a amostra permanece imersa na solução por um período de tempo  $t_2$ , resultando na entrada da solução externa pela ação do mecanismo hidrodinâmico (HDM) (ANINO, SALVATORI e ALZAMORA, 2006; FITO, 1994; FITO e PASTOR, 1994; FITO et al., 1996).

A fortificação de matrizes vegetais é um método interessante para produzir alimentos com impacto nutricional adequado para os consumidores com dietas inadequadas ou com necessidades específicas de saúde (ANINO, SALVATORI e ALZAMORA, 2006). A incorporação de cálcio em alimentos tem sido utilizada tanto para produção de alimentos funcionais quanto para promover modificações de textura. De acordo com Jackman e Stanley (1995), o íon cálcio interage com a pectina presente na parede celular dos tecidos vegetais, proporcionando maior rigidez à estrutura celular, contribuindo para a manutenção ou criação de características específicas de textura dos produtos tratados.

Uma das técnicas mais antigas de preservação de alimentos utilizadas pelo homem é a secagem. Essa técnica consiste na redução de umidade dos alimentos, provocando a diminuição da atividade de água do produto, inibindo o desenvolvimento de microrganismos e retardando deteriorações de origem físico-química. A desidratação confere

excelente estabilidade à temperatura ambiente, conveniência, amplo uso e versatilidade do produto (CANO-CHAUCA et al., 2004; AGUILERA, CHIRALT e FITO, 2003).



## 1.2 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi desidratar e avaliar as características físico-químicas de maçãs impregnadas com lactato de cálcio, previamente branqueadas.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Avaliar o uso de diferentes pressões no processo de impregnação a vácuo;
- Analisar a cinética de impregnação nas diferentes pressões utilizadas;
- Estudar a cinética de secagem convectiva das frutas *in natura*, branqueadas e impregnadas com cálcio;
- Analisar os parâmetros de qualidade (atividade de água e crocância) do produto final.



## CAPÍTULO 2

### 2. REVISÃO DE LITERATURA

#### 2.1 MAÇÃ

A maçã (*Malus spp.*) pertence à família Rosaceae e é típica de clima temperado. É um fruto apreciado pelos consumidores devido aos seus atributos de sabor, aroma e compostos que beneficiam a saúde, como elevado conteúdo de fibras, vitaminas e antioxidantes (ZOHARY e HOPF, 2000; BLEICHER, 2006). Cultivada em todos os continentes, tem sua maior concentração na Ásia. Dentre as frutas de clima temperado comercializadas *in natura*, a maçã é a mais importante, tanto para exportação como no mercado interno (EMBRAPA, 2006). A maçã pode ser consumida na forma *in natura*, suco, geleias e desidratada. Esta última vem ganhando espaço no mercado por apresentar facilidade para o armazenamento e conservação, sendo que quando reidratada pode ser utilizada como matéria-prima na elaboração de tortas, sucos e purês (HONORES, 1995).

O número de cultivares de macieira existente no mundo atualmente é muito grande, em razão dos trabalhos de melhoramento genético. A maçã Fuji é resultado de cruzamentos realizados no Japão, sendo um fruto firme, crocante, suculento, de sabor levemente ácido, e possui a casca avermelhada, sobre fundo esverdeado. Assim, a variedade Fuji está no topo do ranking das maçãs consumidas no Brasil. A Tabela 1 apresenta a composição química por 100 g de porção comestível (PEREIRA, 2006; FAO, 2013).

Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), a produção mundial de maçã em 2011 foi de 75 milhões de toneladas, com rendimento de 15,87 toneladas por hectare. A China é o maior produtor mundial, com 47,58 % do volume total produzido. As exportações mundiais de maçãs têm apresentado comportamento crescente entre os anos de 2004 a 2008, com taxa média anual de 3,8 % na quantidade e de 13,0 % no valor (FAO, 2013).

**Tabela 1** – Composição centesimal da maçã da variedade Fuji por 100 gramas de parte comestível.

<b>Composição centesimal</b>	<b>Valor por 100 g</b>
Umidade	84,3 %
Energia	56 kcal (232 kJ)
Proteína	0,3 g
Carboidratos	15,2 g
Fibra Alimentar	1,3 g
Cinzas	0,2 g
Cálcio	2 mg
Magnésio	2 mg

**Fonte:** Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO (2011).

A safra nacional de maçã em 2011 registrou uma produção de 1,33 milhões de toneladas, e em comparação com a safra passada, a área colhida diminuiu 1,67 % com aumento do rendimento médio de 6,46 % (FAO, 2013). O cultivo da macieira no Brasil é recente, sendo a Região Sul responsável por 98 % da produção nacional. Santa Catarina e Rio Grande do Sul são os principais estados produtores, com uma média de 96 % da produção nacional (EPAGRI, 2011; EMBRAPA, 2006). Nos pomares catarinenses e gaúchos predomina a exploração dos cultivares Gala, Fuji e Golden Delicious, os quais são responsáveis por 95 % da produção nacional. A colheita da variedade Gala começa em fevereiro e representa em torno de 46 % do volume total produzido. A maçã Fuji abrange 45 % da safra e é colhida de abril até meados de maio. A variedade Golden Delicious é colhida em março e alcança cerca de 6 % da produção. Os 3 % restantes são compostos por outros cultivares (EPAGRI, 2011).

A maçã brasileira conquistou os consumidores de outros países e entre 10 a 20 % da produção são exportadas para diversos mercados, principalmente para a Europa. O setor da maçã é reconhecido pelo governo, pela sociedade e por todos os segmentos da fruticultura nacional, sendo frequentemente apontado como exemplo pelo sucesso alcançado (EMBRAPA, 2006).

## 2.2 CÁLCIO

O cálcio é um dos minerais mais importantes e necessários para a manutenção, crescimento e reprodução do corpo humano, mas infelizmente são poucas as excelentes fontes alimentares desse mineral (SINGH et al., 2006). O consumo adequado de cálcio é considerado um pré-requisito para a saúde dos ossos, sendo que a deficiência desse mineral pode acarretar problemas como a perda da massa óssea, câibras e irritabilidade, por ser um mineral necessário na transmissão nervosa e na regulação dos batimentos cardíacos. A baixa ingestão de cálcio tem sido reconhecida como uma das causas de problemas de saúde da população, sendo que em muitos países desenvolvidos a ingestão de cálcio tem diminuído gradativamente. Por este motivo, organizações governamentais ligadas à saúde estão incentivando o desenvolvimento de produtos alimentares enriquecidos com cálcio. A discrepância entre o consumo e a recomendação de ingestão de cálcio, que de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é de 1000 mg por dia, tem conduzido a uma crescente comercialização de alimentos e bebidas enriquecidos com cálcio, os quais têm sido classificados como alimentos funcionais (SINGH et al., 2006; GERSTNER, 2002; PIRKUL, TEMIA, ERDEM, 1997).

Alimentos fortificados e suplementos oferecem fontes alternativas de cálcio para pessoas que não podem satisfazer suas necessidades de ingestão de cálcio pelo consumo de alimentos tradicionais. Segundo a Portaria no 31 de 13 de janeiro de 1998, um alimento é considerado fortificado, em vitaminas e minerais, quando o seu valor nutritivo é reforçado em no mínimo 30 % da Ingestão Diária Recomendada (IDR) em cada 100 g de produto sólido.

O cálcio, além de ser um fortificante interessante no desenvolvimento de alimentos funcionais, é capaz de manter o funcionamento da célula vegetal, estrutura e estabilidade através da manutenção da integridade da parede celular. Essa manutenção ocorre pela interação do cálcio com as pectinas da parede celular, formando o pectato de cálcio, que auxiliam na ligação molecular entre os constituintes da parede das células e contribuem para adesão entre as células, firmeza e resistência mecânica do tecido (DONG, WROLSTAD, SUGAR, 2000; McCREADY, 1970).

Sais de cálcio têm sido utilizados em combinação com inibidores de escurecimento como agentes de firmeza em uma ampla variedade de frutas e legumes, retardando mudanças desfavoráveis na textura, melhorando a estrutura dos tecidos, e mantendo a firmeza e qualidade

dos frutos. Embora benéfico para a textura, o uso de cloreto de cálcio deve ser analisado sistematicamente para que não possa comprometer a qualidade sensorial quando aplicado em produtos alimentícios. Uma alternativa para o comprometimento sensorial do cloreto de cálcio seria o uso de lactato de cálcio (LUNA-GUZMÁN e BARRETT, 2000; HERNÁNDEZ-MUÑOZ et al., 2006; RAYBAUDI-MASSILIA et al., 2007; BARRETT, GARCIA e WAYNE, 1998; ANINO, SALVATORI e ALZAMORA, 2006).

A baixa concentração de cálcio nos frutos é o principal fator nutricional associado ao amadurecimento, perda de qualidade e aumento no risco de ocorrência de doenças e distúrbios fisiológicos durante o armazenamento refrigerado em maçãs. Sendo assim, tratamentos pós-colheita com cálcio vêm sendo utilizados para aumentar a durabilidade de frutas frescas (SAURE, 2005; LAMIKANRA e WATSON, 2004; RICO et al., 2006; MANGANARIS et al., 2007).

### 2.3 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO

A impregnação a vácuo (IV) é uma tecnologia em que o alimento é imerso em uma solução impregnante. O processo é caracterizado pela troca do gás e/ou líquido aprisionados dentro dos poros por um líquido externo, devido aos gradientes de pressão promovidos pela aplicação de vácuo seguida da recuperação da pressão atmosférica (FITO, 1994; FITO e PASTOR, 1994; FITO et al., 1996).

No primeiro passo do processo de IV, o produto submerso em solução impregnante é submetido a uma pressão subatmosférica ( $p_1$ ) por um dado período de tempo ( $t_1$ ), suficiente para a degaseificação parcial do alimento. Durante esse período, o gás ocluso nos poros se expande e flui para fora da amostra, levando parte do líquido nativo presente no interior dos poros, até alcançar o equilíbrio, quando a pressão interna se iguala à pressão de vácuo aplicada. Nesse momento, uma quantidade de líquido penetra nos poros, devido à ação das forças capilares. Após este período, a pressão atmosférica ( $p_2$ ) é restabelecida e o produto é mantido imerso por um tempo ( $t_2$ ). Nessa etapa, o gás residual na amostra é comprimido conduzindo à impregnação dos poros pela solução externa (FITO, 1994, FITO et al., 1996; MARTÍNEZ-MONZÓ et al., 1998; BARAT, FITO e CHIRALT, 2001).

O processo de IV promove mudanças na amostra em consequência do preenchimento dos poros pela solução externa e da deformação do volume da mesma, provocada pela variação da pressão do sistema. O preenchimento dos poros implica em: a) um aumento da

área de contato entre as células e a solução impregnante; b) uma mudança rápida na força motriz do processo de transferência de massa devido à modificação da composição total da amostra com a impregnação da solução; c) um aumento da área disponível para a transferência de massa por difusão (FITO et al., 2001; PAES, 2005).

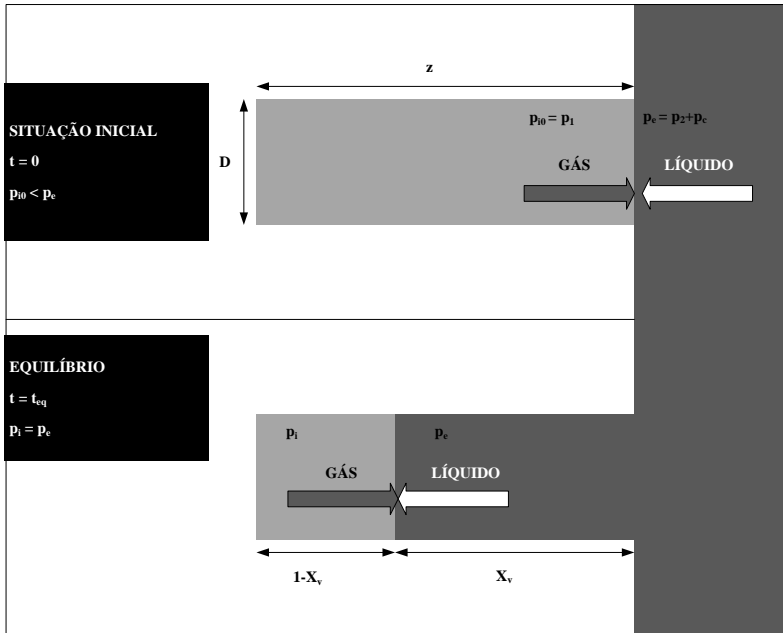
A IV tem amplas aplicações em processos que envolvem operações sólido-líquido: salga, desidratação osmótica, acidificação, adição de conservantes, adição de componentes nutricionais, retardação do escurecimento enzimático, entre outros. No processamento de frutas, como na desidratação osmótica e processamento mínimo, a IV permite rápidas mudanças na composição, através da introdução de soluções adequadas na sua estrutura porosa. No entanto, é necessário o conhecimento da porosidade do produto e a viabilidade da penetração do líquido durante o processo de IV para a aplicação dessa técnica de forma adequada (MARTÍNEZ-MONZÓ et al., 1998; CHIRALT et al., 2001b; MUJICA-PAZ et al., 2003ab; BETORET et al., 2003; CHÁFER et al., 2002; SALVATORI et al., 1998).

As condições de vácuo e restabelecimento da pressão atmosférica promovem a aceleração da transferência de massa em razão da ação do mecanismo hidrodinâmico (HDM) acoplado com o mecanismo difusivo (CHÁFER et al., 2001). Com o objetivo de descrever o mecanismo de “transferência de massa”, produzido por forças motrizes devido aos gradientes de pressão impostos ao sistema quando estruturas porosas estão imersas em uma fase líquida, Fito (1994) propôs o primeiro modelo matemático, denominado Mecanismo Hidrodinâmico (HDM), visto que a impregnação não pode ser explicada por mecanismos osmóticos e nem difusivos. O modelo do HDM permite o cálculo da fração volumétrica da amostra impregnada, ocasionada por gradientes macroscópicos de pressão e pela ação da capilaridade.

### **2.3.1 Modelo do Mecanismo Hidrodinâmico (Fito, 1994)**

Na Figura 1 é apresentada uma situação ideal em que o poro está representado por um cilindro, com diâmetro constante  $D$  e comprimento  $z$ , e está preenchido com gás e imerso na solução.

**Figura 1** – Representação do mecanismo do HDM em um poro ideal (Fito, 1994).



Inicialmente, o gás no interior do poro encontra-se a uma pressão  $p_i$ . A interface gás-líquido está a uma pressão  $p_e$  e é igual a soma da pressão do sistema ( $p_2$ ) e da pressão capilar ( $p_c$ ), que pode ser calculada pela equação de Young-Laplace:

$$p_c = \frac{8\sigma}{D^2} \quad (2.1)$$

sendo  $\sigma$  a tensão superficial e  $D$  o diâmetro do poro.

De maneira simplificada, a penetração do líquido no poro, como efeito do gradiente de pressão, pode ser calculada pela equação de Poiseuille, que descreve a queda de pressão em um tubo, assumindo um escoamento laminar.

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



onde  $\mu$  é a viscosidade do líquido e a  $X_v$  é a fração volumétrica do poro ocupado pelo líquido pela ação do HDM, conforme esquematizado na Figura 1.

Com o restabelecimento da pressão atmosférica, o gradiente de pressão vai diminuindo em consequência do aumento da pressão interna do poro quando o gás é comprimido pela entrada do líquido. Considerando que ocorra uma compressão isotérmica e utilizando a lei dos gases ideais ( $pV = nRT$ ):

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

onde  $p_{i0}$  é a pressão inicial do gás. Pelas equações 2.2 e 2.3, obtém-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 é alcançada quando as pressões  $p_e$  e  $p_i$  são iguais.

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

Nessa condição, a fração do volume do poro ocupado pelo líquido ( $X_v$ ) é dada por:

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

Sendo a pressão externa dada por  $p_e = p_2 + p_c$ , onde  $p_2$  é a pressão atmosférica e a pressão interna inicial é a pressão de vácuo ( $p_{i0} = p_1$ ), tem-se:

$$X_v = \frac{(p_2 + p_c - p_1)}{p_2 + p_c} \quad (2.7)$$

Quando não houver gradientes de pressão impostos sobre o sistema,  $p_1 = p_2$ , a única força motriz será  $p_c$ . Neste caso:

$$X_v = \frac{p_c}{p_2 + p_c} \quad (2.8)$$

Definindo-se  $R = \frac{p_2}{p_1}$  como a taxa de compressão aparente,  $p_r = \frac{p_c}{p_1}$  como a pressão reduzida e  $r = \frac{(p_2 + p_c)}{p_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right) + \left(\frac{p_c}{p_1}\right) = R + p_r$ , como a taxa de compressão real, obtém-se a fração volumétrica do poro ocupado pelo líquido:

$$X_v = 1 - \frac{1}{r} \quad (2.9)$$

Em muitos casos,  $p_r$  é muito menor que  $R$ , portanto, a quantidade de líquido que entra por capilaridade pode ser desprezada e considera-se  $r = R$ .

Uma vez obtido o valor médio de  $X_v$ , o cálculo pode ser estendido ao volume total da amostra, multiplicando pela porosidade efetiva ( $\epsilon_e$ ), definida pela fração volumétrica total da amostra ocupada pelo gás. Sendo assim, a fração volumétrica do líquido ( $X$ ) transferido pelo HDM é dada por:

$$X = \epsilon_e X_v \quad (2.10)$$

As mudanças de pressão também podem promover deformações do produto, devido às propriedades viscoelásticas da matriz sólida. Sendo assim, o acoplamento do HDM com o fenômeno de deformação-relaxação (DRP) da matriz sólida do produto foi descrito e modelado por Fito et al., 1996.

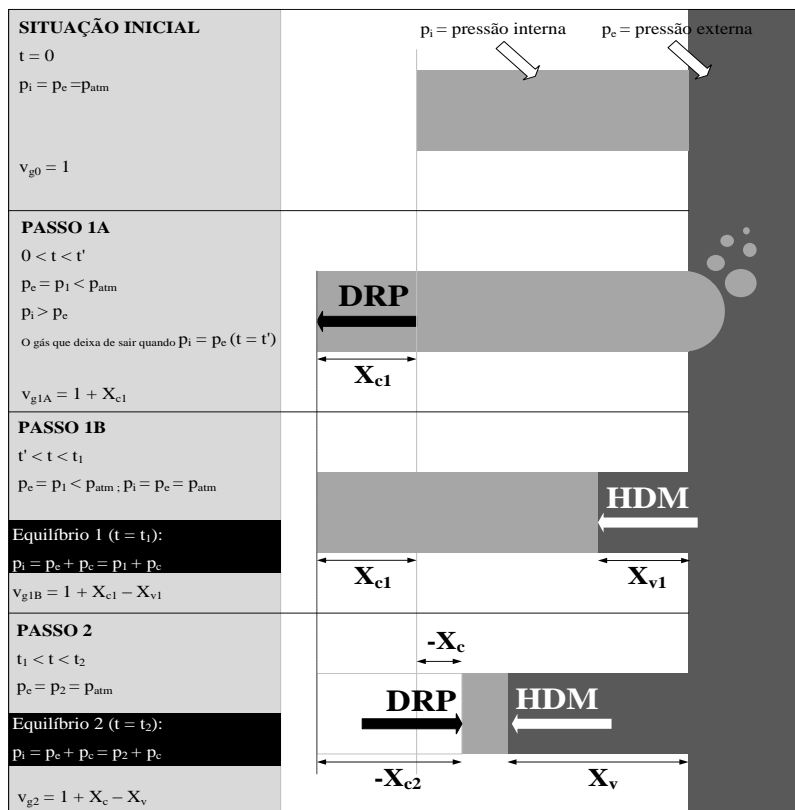
### 2.3.2 Modelo do acoplamento do HDM com o fenômeno de deformação-relaxação

Para produtos porosos com características viscoelásticas, o modelo do HDM foi estendido, considerando que neste caso as mudanças de pressão causam fluxos de gás e líquido e o fenômeno de deformação-relaxação da matriz sólida (DRP). Durante o primeiro passo da impregnação a vácuo, o volume do produto tende a aumentar, sendo esse fenômeno associado à expansão do gás dentro dos poros. Isto ocorre até que a pressão interna se iguale à pressão externa. A amostra então relaxa e ocorre uma entrada capilar de líquido. Durante esta etapa ocorre ainda a saída do líquido nativo presente no interior dos poros, carregado pelo gás que flui para fora da amostra. No segundo passo a compressão pode ocasionar a deformação do volume da amostra e a subsequente relaxação, juntamente com a penetração do líquido nos

poros, pela ação do Mecanismo Hidrodinâmico. As propriedades mecânicas da matriz sólida e as propriedades de escoamento do líquido que penetra os poros definem os tempos característicos de penetração e de deformação-relaxação, responsáveis pela impregnação final e deformação das amostras no equilíbrio (FITO et al., 1996; FITO e CHIRALT, 2000; PAES, 2005).

Na Figura 2 é apresentada uma representação esquemática do poro de um produto poroso, submetido ao processo de impregnação a vácuo, e os passos característicos deste processo, modelado por Fito et al. (1996).

**Figura 2** – Representação da ocorrência do HDM acoplado com o DRP em um poro ideal (Fito et al., 1996).



O volume de gás preso dentro do poro no tempo  $t = 0$ , anterior a qualquer interação sólido-líquido, é selecionado como referência para os cálculos. A variável  $v_g$  é definida como a fração volumétrica de gás ocluso no poro, com relação ao seu volume inicial e, portanto, no tempo  $t = 0$ ,  $v_{g0} = 1$ .

A porosidade efetiva ( $\varepsilon_e$ ) é definida como a relação entre o volume total de gás na amostra no  $t = 0$  e o volume inicial da amostra ( $v_0$ ) ou também como a fração volumétrica total da amostra ocupada pelo gás:

$$\varepsilon_e = \frac{v_{g0}}{v_0} \quad (2.11)$$

Na impregnação a vácuo, a pressão de vácuo  $p_1$  é aplicada no sistema durante um período de tempo  $t_1$ . Esta situação resulta em uma expansão do gás preso dentro do poro (que flui parcialmente) e, com alguma extensão, a matriz sólida pode ser deformada (Passo 1.A na Figura 2) aumentando o valor de  $v_g$ .

No tempo  $t = t'$ , a pressão interna ( $p_i$ ) do poro se iguala à pressão externa ( $p_e = p_1 < p_{atm}$ ), e o fluxo de gás que deixa o poro cessa. Então, o volume de gás no interior do poro terá aumentado por  $X_{c1}$ , como consequência da deformação da matriz sólida (DRP), e a fração de gás que permanece no poro ao fim do passo 1A ( $v_{g1A}$ ) será dada pela Equação 2.12:

$$v_{g1A} = v_{g0} + X_{c1} = 1 + X_{c1} \quad (2.12)$$

Em seguida o HDM ocorre e o líquido externo começa a entrar no poro como um efeito da pressão capilar (Passo 1B, Figura 2). O gás remanescente é comprimido pelo líquido que penetra os poros e uma situação de equilíbrio é alcançada no tempo  $t = t_1$ , quando a pressão interna se iguala a pressão do vácuo ( $p_1$ ) mais a pressão de capilaridade ( $p_c$ ). Assume-se que nenhuma ocorrência do DRP ocorre entre  $t'$  e  $t_1$  (Passo 1B).

No equilíbrio, o volume de gás que permanece dentro do poro será menor e o mesmo volume de líquido penetra o poro pela ação do HDM ( $X_{v1}$ ):

$$v_{g1B} = 1 + X_{c1} + X_{v1} \quad (2.13)$$

Quando a pressão atmosférica é restabelecida no sistema ( $p_e = p_2 = p_{\text{atm}}$ ), forças ocasionadas pela diferença entre a pressão interna e a pressão externa podem produzir tanto deformações na matriz sólida (DRP) quanto o HDM. Considera-se novamente que qualquer mudança no volume da amostra é resultado de mudanças no volume interno de gás (compressão e/ou expansão dentro dos poros). No equilíbrio ( $t = t_2$ ), a mudança de volume e a penetração de líquido no poro, durante o passo 2, serão  $X_{c2}$  e  $X_{v2}$ , respectivamente.

O volume de líquido que penetra o poro pelo HDM ( $X_v$ ) e a deformação da matriz sólida ( $X_c$ ) podem ser calculadas como:

$$X_v = X_{v1} + X_{v2} \quad (2.14)$$

$$X_c = X_{c1} + X_{c2} \quad (2.15)$$

O valor do volume de gás dentro do poro, ao fim do passo 2, pode ser expresso como (Equação 2.16):

$$v_{g2} = 1 + X_c + X_v \quad (2.16)$$

O valor de qualquer variável, referente ao poro ideal, é estendida para o volume total da amostra multiplicando-se pela porosidade efetiva ( $\epsilon_c$ ):

$$X = \epsilon_c X_v \quad (2.17)$$

$$\gamma = \epsilon_c X_c \quad (2.18)$$

onde  $X$  é a fração volumétrica da amostra ocupada pelo líquido e  $\gamma$  é a deformação relativa da amostra ao fim do processo.

Quando ocorre uma mudança de pressão no sistema sólido-líquido, e uma situação de equilíbrio é alcançada, o HDM assume uma compressão isotérmica do gás dentro do poro e, portanto:

$$\frac{v_{g,j+1}}{v_{g,j}} = \frac{p_{i,j}}{p_{i,j+1}} \quad (2.19)$$

Esta equação só pode ser aplicada quando nenhuma perda de gás ocorre entre os tempos  $t_j$  e  $t_{j+1}$ . Este critério também pode ser usado para determinar as relações entre  $X$ ,  $\gamma$  e as variáveis de operação, em cada um dos passos mostrados na Figura 2.

Para  $t = t_1$  (Passo 1B), a Equação 2.19 pode ser aplicada:

$$\frac{v_{g1B}}{v_{g1A}} = \frac{p_1}{p_1 + p_c} = \frac{1}{r_1} = \frac{1 + X_c - X_v}{1 + X_c} \quad (2.20)$$

Isto implica:

$$\frac{X_{v1}}{1 + X_{c1}} = 1 - \frac{1}{r_1} \quad (2.21)$$

Utilizando o valor da porosidade efetiva ( $\varepsilon_e$ ):

$$X_1 = (\varepsilon_e + \gamma_1) \left(1 - \frac{1}{r_1}\right) \quad (2.22)$$

Pode-se definir:

$$\varepsilon_{e1} = \varepsilon_e + \gamma_1 \quad (2.23)$$

onde  $\varepsilon_{e1}$  é o valor real da porosidade em  $t = t'$ .

A equação de equilíbrio para o passo 1 resulta em:

$$X_1 - \gamma_1 = \varepsilon_e \left(1 - \frac{1}{r_1}\right) - \frac{\gamma_1}{r_1} \quad (2.24)$$

Para o passo 2 (Figura 2), a Equação 2.19 pode ser aplicada entre  $t = t'$  e  $t = t_2$ .

$$\frac{v_{g2}}{v_{g1A}} = \frac{p_1}{p_2 + p_c} = \frac{1}{r_2} = \frac{1 + X_c - X_v}{1 + X_{c1}} \quad (2.25)$$

e multiplicando por  $\varepsilon_e$ , resulta em:

$$X - \gamma = (\varepsilon_e + \gamma_1) \left(1 - \frac{1}{r_2}\right) - \gamma_1 \quad (2.26)$$

A Equação 2.26 relaciona a fração volumétrica da amostra impregnada ( $X$ ) e a fração volumétrica da amostra deformada ( $\gamma$ ) resultantes do processo com a porosidade efetiva ( $\varepsilon_e$ ) da amostra, a taxa de compressão no período de relaxação ( $r_2$ ) e a deformação ao fim do período de vácuo ( $\gamma_1$ ).

Paes (2005) apresentou algumas características que dificultam a utilização do modelo do acoplamento do HDM com o DRP na prática:

- (a) O modelo, apesar de descrever fisicamente o processo, apresenta baixa capacidade de predição das variáveis de interesse  $X$  e  $\gamma$ , uma vez que as variáveis  $\varepsilon_e$  e  $\gamma_1$  são, obrigatoriamente, determinadas experimentalmente.
- (b) O modelo se baseia nas condições de equilíbrio do processo, entretanto, os tempos necessários para alcançar o equilíbrio no passo 1 (vácuo) e no passo 2 (relaxação) não são conhecidos e a variável tempo não é tratada no modelo.
- (c) O modelo apresenta uma boa capacidade de predição somente quando não ocorre deformação, o que não acontece na maioria dos alimentos, que em sua grande maioria se comportam como sólidos viscoelásticos.

### 2.3.3 Aplicações de IV na incorporação de sais de cálcio

A literatura reporta estudos realizados sobre a incorporação de sais de cálcio por meio de impregnação a vácuo (IV), tendo como objetivos principais avaliar a eficiência do processo e mudanças na textura. Gras et al. (2003) analisaram as respostas da utilização de íons de cálcio na IV através das propriedades mecânicas em amostras de berinjela, cogumelo ostra e cenoura. E ao mesmo tempo, analisaram a distribuição de cálcio no tecido. Através de testes de compressão, os autores constataram que o comportamento mecânico de berinjela e cenoura foi afetado com a utilização de cálcio na solução impregnante, mas os efeitos não foram significativos no cogumelo ostra. Pela microanálise de energia dispersiva de raios-X, a impregnação com cálcio ocorre nos espaços intercelulares da berinjela e cogumelo ostra, enquanto que na cenoura, o processo ocorre no xilema.

Moraga et al. (2009) estudaram o efeito de lactato de cálcio sobre a cinética de desidratação osmótica e nas propriedades mecânicas em pomelos *in natura*, impregnados a vácuo e desidratados osmoticamente com pulso de vácuo. Por meio de testes de penetração, não foi observado efeito nas propriedades mecânicas em amostras com adição de cálcio. O coeficiente de difusão da água reduziu de  $3,64 \times 10^{-11}$  para  $1,80 \times 10^{-11}$   $\text{m}^2/\text{s}$  quando adicionado lactato de cálcio no tratamento osmótico.

Anino, Salvatori e Alzamora (2006) verificaram a capacidade de incorporação de cálcio do tecido da maçã por duas técnicas de impregnação: a vácuo (IV) e sob pressão atmosférica (IA) e

determinaram o comportamento do material em ensaios de compressão. Os autores observaram que a maior concentração de cálcio (3100 ppm) foi alcançada após 22 horas pela IA e a quantidade de cálcio incorporada pela IV foi obtida após 10 horas de IA. Os tecidos impregnados com cálcio exibiram diferentes respostas à compressão quando comparados com a fruta *in natura*.

Xie e Zhao (2003) avaliaram o uso de impregnação a vácuo para desenvolvimento de maçãs minimamente processadas e nutricionalmente fortificadas. Os resultados obtidos em 200 g de amostra foram de 150 a 200 mg e 6 mg para cálcio e zinco, respectivamente. Estudo de armazenamento mostrou que a IV com zinco melhorou significativamente a estabilidade de cor, e com cálcio foi possível aumentar a firmeza das maçãs.

## 2.4 SECAGEM

A secagem é uma operação unitária que tem como objetivo a remoção da umidade de um material, reduzindo sua massa e os custos de transporte. Quando aplicada a alimentos, a remoção de umidade inibe o crescimento microbiano e a atividade enzimática, e também cria uma nova estrutura, porosa, na maioria das vezes (AGUILERA, CHIRALT e FITO, 2003; BARBOSA-CANOVAS e VEGA-MERCADO, 1996). A remoção de água tem sido usada por séculos como uma maneira de preservar os alimentos. Embora a conservação de alimentos tenha grande importância, a desidratação confere propriedades diferentes do que as obtidas por qualquer outra tecnologia de preservação, ou seja, uma excelente estabilidade à temperatura ambiente, maior comodidade, versatilidade do produto e mínimo impacto ambiental. Porém, a secagem com ar quente possui algumas desvantagens, como o longo tempo de secagem mesmo utilizando altas temperaturas, resultando na degradação da qualidade do produto desidratado (AGUILERA, CHIRALT e FITO, 2003; IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 2003; SHARMA e PRASAD, 2001).

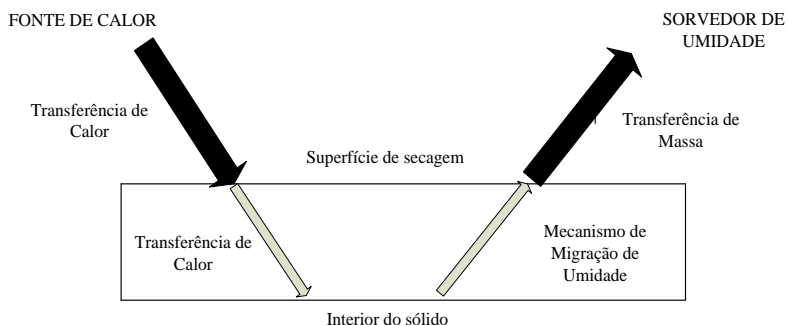
Durante a secagem é necessário uma fonte de calor para evaporação da umidade do material e, ao mesmo tempo, um sorvedor de umidade para remoção do vapor de água formado a partir da superfície de secagem. A velocidade de secagem é controlada pela velocidade de transferência de calor até a superfície de evaporação que fornece o calor latente para evaporação do líquido. Para produtos com altos teores iniciais de umidade, a água é inicialmente evaporada diretamente da superfície exposta ao ar de secagem, até que essa umidade superficial



seja reduzida, reduzindo a pressão de vapor da água na superfície. Para produtos com teores intermediários de umidade, para que haja a evaporação de água da superfície do material, a água deve ser transportada do interior do sólido até a superfície (Figura 3). Os mecanismos de migração da água no interior do produto são: transporte da água por capilaridade, difusão da água devido aos gradientes de concentração; difusão na superfície; difusão de vapor de água nos poros; fluxo devido ao gradiente de pressão e devido à vaporização-condensação (PARK, 1987; BARBOSA-CANOVAS e VEGA-MERCADO, 1996; GEANKOPLIS, 1998).

**Figura 3** – Diagrama do processo de secagem e migração de umidade no interior do sólido.

**Fonte:** Adaptado de Alonso (2001).



A secagem convectiva é um processo em que o sólido é exposto a um fluxo contínuo de ar quente para evaporação de umidade. Este processo envolve transferência de calor e massa acompanhados pela mudança de fase (FELLOWS, 2000).

Os dados de secagem são geralmente expressos como a umidade total do sólido em função do tempo durante o processo de secagem e expressa pela razão entre a massa de água e da massa de sólidos secos, como apresentado na Equação 2.27:

$$X_t = \frac{(M_t - M_{ss})}{M_{ss}} \quad (2.27)$$

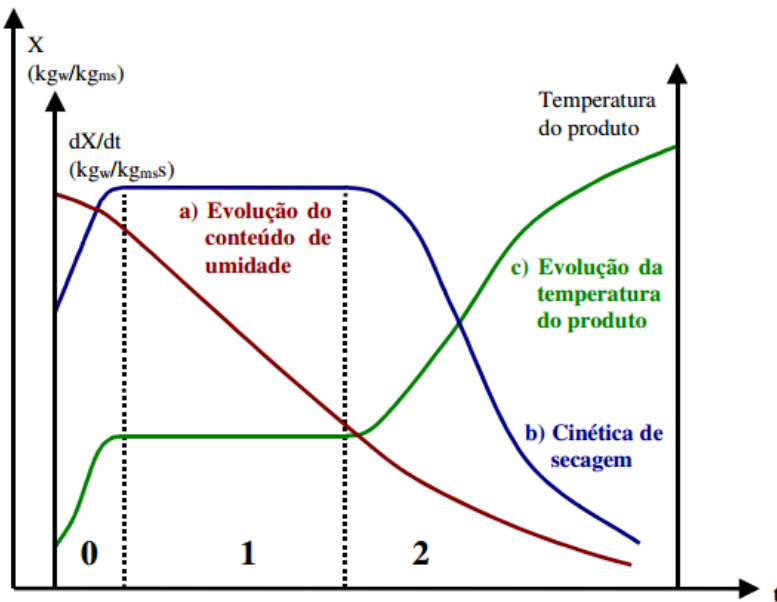
onde  $M_t$  é a massa total do sólido no instante  $t$ ,  $M_{ss}$  é a massa de sólidos secos e  $X_t$  é a umidade do sólido em base seca (g de água/g de sólidos secos).

A umidade livre  $X$  é a diferença entre a umidade total e a umidade de equilíbrio  $X_{eq}$ , considerada como a umidade alcançada no equilíbrio com o ar de secagem. A velocidade de secagem,  $R$ , é proporcional à variação da umidade em função do tempo (Equação 2.28) (BARBOSA-CANOVAS e VEGA-MERCADO, 1996; FOUST et al., 1982).

$$R \propto \frac{dX}{dt} \quad (2.28)$$

Na secagem de um sólido com ar com temperatura e umidade fixas, observa-se sempre o mesmo tipo de comportamento. A Figura 4 apresenta uma curva típica de secagem.

**Figura 4** – Curva típica de secagem.



O primeiro período representa o início da secagem. Neste período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Se a temperatura do ar for inferior àquela do produto, esta última diminuirá até atingir a temperatura de equilíbrio com o ar de secagem. Geralmente, a duração deste período é insignificante em

relação ao período total de secagem. O segundo período é caracterizado pela velocidade constante de secagem e é representado pela remoção de água livre devido à grande quantidade de água disponível no interior do sólido. O período de velocidade constante continua enquanto houver água na superfície para suprir a evaporação. Em geral, as condições externas de temperatura, umidade e velocidade do ar determinam a velocidade de secagem. O terceiro período é atingido quando a velocidade de secagem começa a diminuir a partir da umidade crítica, e é denominado período de velocidade decrescente. A velocidade de secagem é governada pelo fluxo interno de líquido ou vapor para a superfície do sólido, sendo que a velocidade do movimento do líquido para a superfície é menor que a velocidade com que a massa é evaporada da superfície. Nesse período, a temperatura do sólido aumenta até atingir a temperatura do ar de secagem. O processo de secagem é concluído quando o sólido atinge a umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem. A quantidade de água removida neste período pode ser relativamente pequena enquanto o tempo necessário pode ser longo devido a velocidade de secagem ser baixa (BARBOSA-CANOVAS E VEGA-MERCADO, 1996; FOUST et al., 1982, KEEY, 1972; GEANKOPLIS, 1998).

Fatores como pressão de vapor do sólido e ar de secagem, velocidade do ar e temperatura, velocidade da difusão da água no sólido, espessura e área superficial exposta para secagem conduzem os mecanismos de transferência e determinam a velocidade de secagem (VAN ARSDEL, 1973).

Estudos realizados sobre a avaliação das condições de processo de secagem são encontrados na literatura. González-Fésler et al. (2008) analisaram o efeito da impregnação de cálcio a pressão atmosférica (IA) ou sob vácuo (IV), com e sem branqueamento prévio, sobre a velocidade do movimento da água durante o primeiro período de velocidade de secagem decrescente de maçãs a 60 °C. Através da análise dos resultados, os autores verificaram que o coeficiente de difusão efetivo da água foi afetado pelo pré-tratamento com calor. Com exceção dos tecidos não branqueados submetidos a IV e IV seguido de IA por 1,5 horas, a absorção de cálcio durante a impregnação pareceu modificar a resistência da matriz ao fluxo de água apenas quando o tecido foi previamente aquecido.

Souza e Ocácia (2009) estudaram a secagem de maçã em secador convectivo e constataram que os valores da difusividade aumentaram com o aumento da temperatura e com a velocidade do ar de secagem.

Esse aumento se deve a diminuição da resistência interna em função do aumento da temperatura.

Doymaz (2008) estudou a cinética de secagem de morango sem tratamento prévio e pré-tratados com solução alcalina etil-oleato a diferentes temperaturas (50, 55 e 65 °C) e velocidade do ar constante de 1,2 m/s. O autor observou que o processo de secagem ocorreu apenas no período a velocidade decrescente. O transporte de água durante a secagem foi descrito pela equação de Fick e difusividade efetiva variou de  $6.42 \times 10^{-10}$  a  $1.42 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s para as amostras pré-tratadas e de  $4,95 \times 10^{-10}$  a  $1,09 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s para amostras sem tratamento prévio.

## 2.5 ATIVIDADE DE ÁGUA

A deterioração de alimentos por microrganismos pode ocorrer rapidamente, enquanto as reações enzimáticas e químicas ocorrem mais lentamente durante o armazenamento. Porém, o simples conhecimento da umidade não é suficiente para prever o grau de estabilidade do produto. Alguns alimentos são instáveis a uma baixa umidade e outros são estáveis a uma umidade relativamente alta, ou seja, a disponibilidade de água livre (atividade de água) suscetível a diversas reações é um dos principais fatores que determinam a qualidade e a vida útil de um alimento (FELLOWS, 2000; BARBOSA-CANOVAS e VEGA-MERCADO, 1996).

A atividade de água ( $a_w$ ) é utilizada como o parâmetro de referência nas aplicações de processamento e armazenamento de alimentos baseando em efeitos conhecidos como:  $a_w$  é um fator determinante para o crescimento de microrganismos e está relacionada com a maioria das reações de deterioração de natureza química, enzimática e física dos alimentos; a migração da água nos alimentos obedece a  $a_w$  e é uma medida não destrutiva (MALTINI et al., 2003).

A  $a_w$  é definida como a razão entre a pressão do vapor de água em um alimento e a pressão de vapor saturado de água à mesma temperatura. No equilíbrio, a atividade de água está relacionada com a umidade relativa (UR) do ambiente (FELLOWS, 2000; MALTINI et al., 2003):

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{UR}{100} \quad (2.29)$$

Os valores de atividade de água variam entre 0 e 1. A disponibilidade da água pode ser reduzida com o aumento da

concentração de solutos na fase aquosa, tanto pela adição de solutos quanto pela remoção de água. (SMITH e HUI, 2004).

A atividade microbiana é inibida com valores de  $a_w$  abaixo de 0,60, fungos são inibidos com  $a_w < 0,70$ , sendo as leveduras com  $a_w < 0,80$  e a maioria das bactérias com  $a_w < 0,90$ . Interações com temperatura, pH, oxigênio e dióxido de carbono ou conservantes químicos apresentam um efeito importante sobre a inibição do crescimento microbiano, porém a atividade de água é o fator mais importante para controlar a deterioração (FELLOWS, 2000).

## 2.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS - TEXTURA

A textura é o conjunto de propriedades mecânico-acústico-estruturais que podem ser percebidas e diferenciadas por seres humanos, considerada como um dos principais fatores de aceitabilidade sensorial. Conceituada como uma propriedade sensorial, com atributo multiparâmetro (relacionada não apenas à sensibilidade ou mastigabilidade, mas a uma gama de características), a textura é uma característica da estrutura interna do alimento (molecular, microscópica ou macroscópica), podendo ser detectada por vários sentidos (PELEG, 2006; SZCESNIAK, 2002).

Em alimentos de origem vegetal, a textura pode ser atribuída, principalmente, à integridade estrutural da parede celular e da lamela média, bem como pela pressão de turgescência gerada no interior das células por osmose. A firmeza está relacionada com as pectinas encontradas na parede celular primária das células vegetais e nas camadas intercelulares (lamela média) e são responsáveis por manter as células unidas umas às outras. (KOBLOITZ, 2008; JACKMAN e STANLEY, 1995).

Fatores como turgor celular, força da ligação entre as células através da lamela média, resistência da parede celular à compressão ou tração e a densidade do empacotamento celular que define os espaços livres com gás ou líquido, interferem nas propriedades mecânicas do tecido vegetal. Fatores como a forma e o tamanho da amostra, a temperatura e a taxa de deformação são comuns para outros produtos (CHIRALT et al., 2001a).

Algumas alterações no comportamento mecânico são induzidas pelos tratamentos aplicados aos alimentos. O tratamento osmótico causa perda de turgescência celular, alteração da lamela média, alteração da resistência da célula, estabelecimento de perfis de concentração de água e soluto, alterações nas frações volumétricas do ar e do líquido na

amostra e mudanças na forma e tamanho da mesma. Na impregnação a vácuo, devido às mudanças de pressão que as amostras são submetidas, a estrutura celular sofre deformações que causam danos nas junções entre as células e a separação das mesmas (MARTÍNEZ-MONZÓ et al., 1998; CHIRALT et al., 2001a).

Durante a secagem, a transferência de massa é limitada pela permeabilidade da parede celular. No entanto, mecanismos que elevam a difusividade da água como o aumento da temperatura, o aumento da superfície de contato do alimento e a utilização de tratamentos enzimáticos, afetam a textura do produto final (JACKMAN e STANLEY, 1995).

A crocância é uma qualidade desejável para produtos secos. A perda de crocância ocorre devido à adsorção de umidade do ambiente ou devido ao transporte de massa de água de componentes vizinhos. A sensação de crocância pode ser relacionada com as propriedades do produto, duro ou quebradiço, que produzem um som típico quando fraturado (SAELEAW e SCHLEINING, 2011).

Métodos instrumentais são capazes de detectar apenas parâmetros de textura baseados em testes mecânicos que, por sua vez, devem ser interpretados em termos de percepção sensorial. Assim, propriedades mecânicas são consideradas para descrever as propriedades estruturais dos materiais por meio da resistência à compressão por uma sonda ou um objeto de tração que são capazes de romper a estrutura do material utilizando uma máquina de ensaio universal ou um analisador de textura (SAELEAW e SCHLEINING, 2011; PELEG, 2006; SZCESNIAK, 2002).

Dentre os três grupos de testes mais utilizados (curvatura, cisalhamento e compressão) para avaliar a crocância, os testes de compressão são os mais comuns devido suas similaridades com o processo de mastigação. Os testes de penetração têm sido largamente utilizados, também para simular os impactos incisivos da mordida. Neste caso, uma sonda cilíndrica ou cônica de pequeno diâmetro perfura a amostra a uma velocidade constante e preferencialmente baixa. Os dados de força-deformação são caracterizadas por uma série de picos de força correspondentes à ruptura das paredes das células individuais (ROUDAUT et al., 2002).

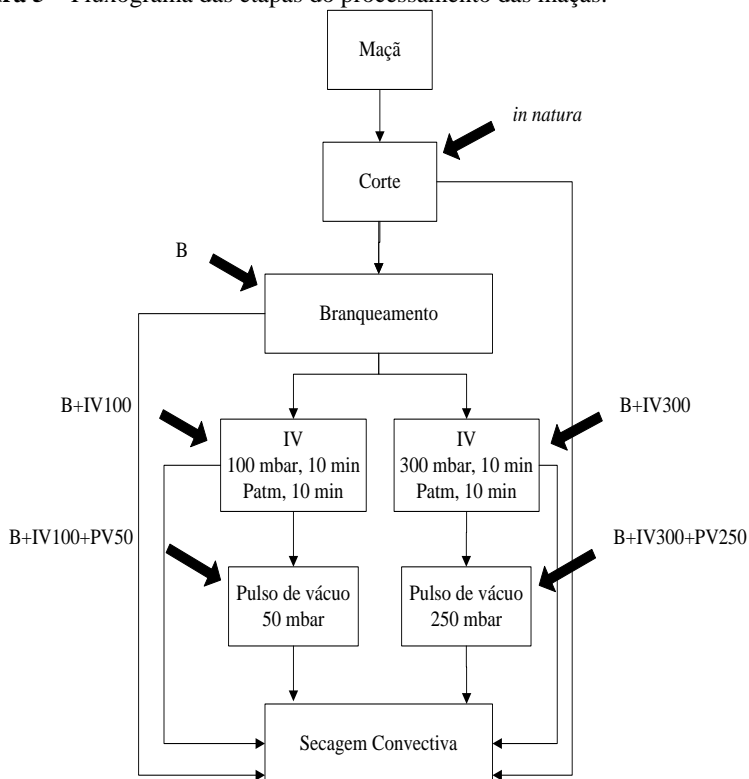
## CAPÍTULO 3

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 PROCESSAMENTO DAS MAÇÃS

As maçãs foram processadas de acordo com as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 5 juntamente com as denominações utilizadas ao longo do trabalho.

**Figura 5** – Fluxograma das etapas do processamento das maçãs.



### **3.2 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS**

Para as maçãs *in natura*, branqueadas (B), branqueadas e impregnadas a vácuo (B+IV) e branqueadas, impregnadas a vácuo seguida de pulso de vácuo (B+IV+PV), foram realizadas análises de umidade, concentração de sólidos solúveis totais, atividade de água e pH. As análises foram feitas em triplicata de experimento e triplicata de amostragem.

As determinações de umidade foram realizadas de acordo com A.O.A.C. (2005). As amostras foram trituradas, pesadas em balança analítica (Marca Marte, modelo AY220) com precisão de 0,001 g e colocadas em estufa a vácuo (Marca Ethik technology, modelo 440/DE) a 70 °C até massa constante.

A concentração de sólidos solúveis totais foi determinada a partir do suco das maçãs, utilizando um refratômetro automático (Marca Atago, modelo PAL-BX/RI) com precisão de 0,1 %. As amostras foram trituradas e depois filtradas para obtenção do suco.

A atividade de água foi realizada a partir de amostras trituradas e determinada através de um higrômetro (Marca Decagon Devices Inc., modelo Aqualab Series 3).

O pH foi determinado diretamente no suco das maçãs com auxílio de um pHmetro digital (Marca Quimis, modelo Q 400A).

Os resultados foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA), com auxílio do software Statistica 7.0. Os valores médios foram analisados, com relação à diferença significativa, através do teste de Tukey ao nível de 5 % de significância.

### **3.3 DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DE MASSA (VM) DAS MAÇÃS TRATADAS**

A transferência de massa foi caracterizada pela determinação do parâmetro de variação de massa (VM). A determinação do parâmetro VM foi realizada para as amostras branqueadas, impregnadas (previamente branqueadas) e impregnadas seguida de pulso de vácuo (previamente branqueadas). As amostras foram pesadas antes e depois de cada processo e o excesso de solução aderida na superfície da amostra foi retirado com o uso de papel filtro absorvente por cinco segundos de cada lado (procedimento realizado antes de cada pesagem). Na etapa de branqueamento, as amostras foram acondicionadas à temperatura de 25°C em estufa (Marca DIST, modelo BOD DI 312-240 M) durante 20 minutos, para estabilizar a temperatura.



A variação de massa foi determinada pela seguinte Equação (3.1):

$$VM = \frac{w_2 - w_1}{w_0} \quad (3.1)$$

onde  $w_0$  é a massa inicial da amostra,  $w_2$  é a massa ao final de cada tratamento e  $w_1$  é a massa no tratamento anterior.

### **3.4 PREPARO DAS AMOSTRAS**

As maçãs da variedade Fuji foram adquiridas no comércio local de Florianópolis – SC e mantidas à temperatura ambiente até o momento da sua utilização. Para o preparo das amostras o miolo foi extraído com o auxílio de um cortador metálico cilíndrico de 23 mm e depois cortadas em fatias perpendicular ao eixo da maçã com 8 mm de espessura. Foram utilizadas três fatias centrais da maçã. Este procedimento foi realizado para evitar a variação da massa das amostras, devido ao tamanho das fatias, que variam ao longo da fruta.

### **3.5 BRANQUEAMENTO**

O processo de branqueamento foi realizado com o objetivo de retardar as reações enzimáticas, evitando assim, o escurecimento. As amostras foram acomodadas em um suporte de aço inoxidável perfurado e imersas em vapor saturado por dois minutos à pressão atmosférica.

### **3.6 PREPARO DA SOLUÇÃO IMPREGNANTE**

A solução impregnante foi preparada com lactato de cálcio ( $C_6H_{10}CaO_6 \cdot 5H_2O$ ) (1 %) (m/v) e água destilada. Uma razão de 1:20 de fruta/solução foi utilizada para evitar mudanças significativas de concentrações na solução durante a impregnação.

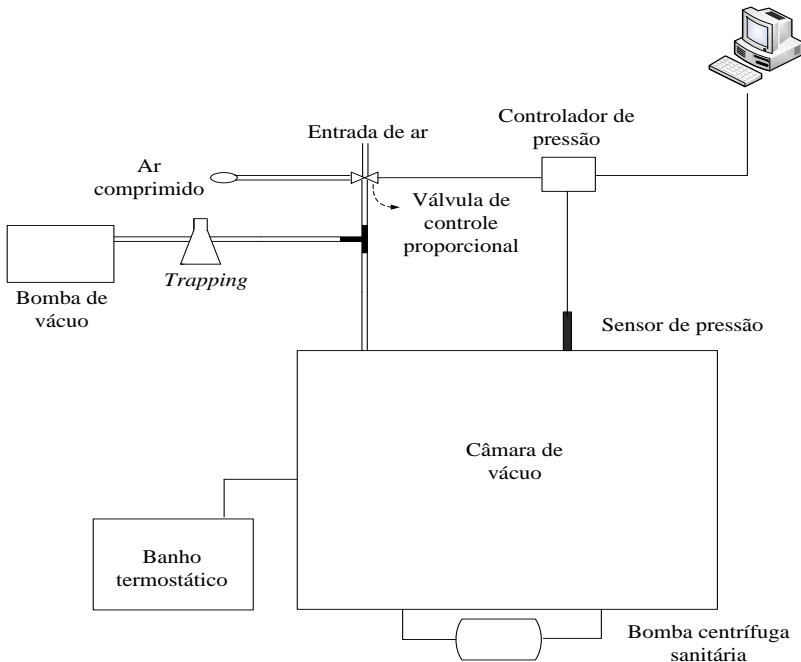
### **3.7 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO**

O dispositivo experimental utilizado para a realização da IV nas maçãs (previamente branqueadas) (Figura 6) é composto de uma câmara encamisada de volume interno de 50 litros, equipada com um sistema de controle e monitoramento de temperatura e pressão. O controle de temperatura é realizado através da circulação da água proveniente do banho termostatizado (Marca Quimis, modelo Q214M2). A câmara é conectada a uma bomba de vácuo, de vazão nominal de  $350 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$

(Marva DVP, modelo LC.305, Itália), a um *trapping* (utilizado para evitar que gotículas danifiquem a bomba), a uma válvula de controle proporcional e a um transmissor de pressão (Marca Warme, modelo WTP 4010). O transmissor de pressão encontra-se ligado a um controlador externo, e este ligado a válvula de controle proporcional e a um computador, possibilitando o controle e um monitoramento *on-line* da pressão através de um programa de aquisição de dados. A solução é colocada no interior da câmara e as amostras acomodadas em cestas plásticas.

A agitação da solução é realizada através de uma bomba centrífuga sanitária, com vazão nominal de  $5000 \text{ L h}^{-1}$  (Marca Bombinox, modelo BL 5) conectada à câmara.

**Figura 6** – Representação esquemática do equipamento utilizado para IV.



### **3.8 IMPREGNAÇÃO A VÁCUO E IMPREGNAÇÃO A VÁCUO SEGUIDA DE PULSO DE VÁCUO FORA DA SOLUÇÃO**

Para a realização dos experimentos de impregnação a vácuo, as amostras branqueadas foram acondicionadas em cestas plásticas e submersas na solução impregnante dentro da câmara de vácuo. Para realização do pulso de vácuo, as amostras impregnadas foram dispostas em cestas plásticas e colocadas dentro da câmara de vácuo sem solução, com o objetivo da remoção parcial da água da amostra, auxiliando no processo de secagem (a fim de torná-lo menos dispendioso). A impregnação a vácuo e o pulso de vácuo foram realizados a uma temperatura de 25 °C. Em cada experimento foi utilizado um número de amostras suficiente para realização das análises de variação de massa, atividade de água, sólidos solúveis, pH e propriedades mecânicas.

#### **3.8.1 Influência da intensidade do vácuo aplicado**

Para investigar a influência da intensidade do vácuo durante a impregnação, foram aplicadas ao sistema pressões de vácuo de 100 (B+IV100) e 300 (B+IV300) mbar durante 10 minutos seguidos de um período de relaxação a pressão atmosférica por 10 minutos.

#### **3.8.2 Influência da intensidade do vácuo aplicado durante o pulso de vácuo**

Para investigar a influência da intensidade do vácuo durante o pulso de vácuo fora da solução, foram utilizadas pressões de vácuo um pouco menores que as utilizadas na IV, com o intuito de promover a remoção parcial do líquido no interior dos poros. As pressões de vácuo de 50 (B+IV100+PV50) e 250 (B+IV300+PV250) mbar foram utilizadas para amostras submetidas às pressões de vácuo de 100 e 300 mbar na etapa anterior de IV, respectivamente, por tempo necessário para atingir a pressão desejada, seguido de tempo suficiente para restabelecimento da pressão atmosférica.

### **3.9 CINÉTICA DO PROCESSO DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO**

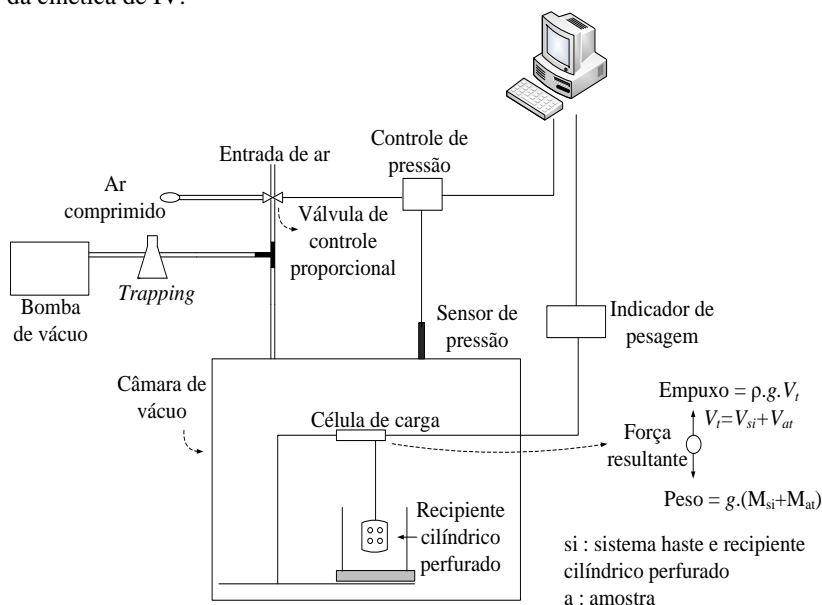
Para o estudo da cinética do processo de impregnação a vácuo foi utilizado um dispositivo experimental desenvolvido por Laurindo et al. (2007), o qual permite o registro da variação temporal de massa das amostras e da pressão durante todo o processo. Este dispositivo,

apresentado na Figura 7, consiste na mesma câmara de vácuo descrita no item 3.7. Dentro da câmara, uma célula de carga single point (Marca Alfa Instrumentos, modelo GL1), com capacidade de 1000,0 g e precisão de 0,1 g, é sustentada por um suporte rígido e acoplada, através de uma haste de metal, a um recipiente cilíndrico perfurado onde as amostras de fruta são colocadas para os experimentos de IV. O sistema composto pelo recipiente cilíndrico perfurado e pela amostra é imerso na solução impregnante e os valores da força resultante ( $F_r$ ) desse sistema são registrados por um indicador de pesagem (Marca Alfa Instrumentos, modelo 3102) ligado a um sistema de aquisição de dados. A variação do valor dessa força resultante que age nesse sistema (dada pela diferença entre a força peso e a força de empuxo) é medida pela célula de carga e registrada durante todo o processo de IV.

O efeito do vácuo nas medidas realizadas com a célula de carga foi avaliado em um experimento paralelo sem as amostras, nas mesmas condições experimentais. Desta forma os resultados dos experimentos da cinética de IV foram corrigidos, eliminando-se o efeito do vácuo nas medidas.

Possíveis expansões de volume da amostra durante a aplicação do vácuo aumentam a força de empuxo, enquanto a impregnação da amostra com solução externa aumenta a força peso. Em processos de impregnação a vácuo nos quais não há deformação das amostras ou variações de volume são desprezíveis em relação ao volume total da amostra, a evolução da força resultante representa diretamente a massa perdida (etapa de desgaseificação) ou a massa acrescentada (etapa de impregnação) à amostra, ou seja, a cinética da variação de massa durante a impregnação a vácuo (CARCIOFI, 2009).

**Figura 7** – Representação esquemática do equipamento utilizado para o estudo da cinética de IV.



O valor medido pela célula de carga ( $F_r/g$ ) com as constantes do sistema e com as variáveis do processo é representado pela Equação 3.2.

$$\frac{F_r}{g} = (M_{si} + M_a) - \rho(V_{si} + V_a) \quad (3.2)$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade,  $\rho$  é a densidade da solução impregnante,  $M_a$  é a massa da amostra em um dado instante,  $M_{si}$  é a massa da haste rígida e do recipiente cilíndrico perfurado,  $V_a$  é o volume da amostra em um dado instante e  $V_{si}$  é o volume da haste rígida e do recipiente cilíndrico perfurado imersos na solução.

### 3.10 SECAGEM CONVECTIVA

As amostras (*in natura*, branqueadas, branqueadas e impregnadas a vácuo e branqueadas, impregnadas a vácuo seguida de pulso de vácuo) foram submetidas à secagem em estufa com circulação e renovação de ar (Marca Tecnal – TE, modelo 394/2). As amostras foram acondicionadas em placas de Petri e colocadas na estufa a 60°C. A umidade relativa (UR) foi acompanhada pelas medidas da temperatura

de bulbo úmido e bulbo seco. A velocidade do ar de secagem foi medida com um anemômetro (Anemômetro Térmico Compacto, Marca TESTO, modelo 425). A pesagem das amostras foi realizada a cada 15 minutos nas primeiras duas horas, a cada 30 minutos nas 10 horas seguintes, e a cada hora até que se atingissem massa constante.

### 3.11 REPRESENTAÇÃO DOS DADOS DE SECAGEM POR EQUAÇÃO EMPÍRICA

O modelo empírico de Page (Equação 3.3) foi ajustado aos dados experimentais de umidade em função do tempo de secagem, conforme as equações abaixo:

$$\frac{X-X_{eq}}{X_0-X_{eq}} = e^{(-k.t^n)} \quad (3.3)$$

onde  $X_0$ ,  $X$  e  $X_{eq}$  são as umidades em base seca inicial, ao longo do tempo ( $t$ ) e no equilíbrio, respectivamente,  $t$  é o tempo de secagem em horas,  $k$  é um parâmetro do modelo em  $\text{horas}^{-1}$  e  $n$  é um parâmetro adimensional do modelo. Para ajuste dos dados experimentais,  $X_{eq}$  foi considerado como a umidade determinada ao final da secagem (DOYMAZ, 2004).

O ajuste do modelo foi realizado por um método de regressão não linear utilizando o *software* MATLAB, versão 7.10.

### 3.12 MEDIDA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

As amostras (*in natura*, branqueadas, branqueadas e impregnadas a vácuo e branqueadas, impregnadas a vácuo seguida de pulso de vácuo, e as mesmas submetidas ao processo de secagem) foram avaliadas através do teste de penetração em um analisador de textura (Marca Stable Micro System, modelo TA-TX2). Para esse teste, foi utilizada uma sonda cilíndrica de 2 mm de diâmetro, considerando a resistência a penetração em 70 % da sua altura original. Para cada tratamento foram analisadas cinco amostras, realizando quatro perfurações em diferentes regiões de cada fatia.

### 3.13 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO

As concentrações de cálcio foram determinadas, em triplicata, nas amostras *in natura*, impregnadas a vácuo e impregnadas a vácuo seguido de pulso de vácuo, previamente branqueadas, e secas

convectivamente, utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica e realizada pelo Laboratório de Análises de Alimentos do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos (LABCAL) da Universidade Federal de Santa Catarina.

### **3.14 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL**

As microscopias foram realizadas no Laboratório de Caracterização Microestrutural (LCM) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. A análise foi realizada das amostras *in natura*, branqueadas, branqueadas e impregnadas a vácuo e branqueadas, impregnadas a vácuo seguida de pulso de vácuo, secas em estufa a 60 °C. As amostras desidratadas, por secagem convectiva, foram liofilizadas para retirada da umidade residual. Posteriormente, as amostras foram recobertas com ouro utilizando um metalizador (Marca BAL-TEC, modelo SCD 005) e observadas por microscópio eletrônico de varredura (Marca Philips, modelo XL30). As microscopias foram realizadas da fratura da amostra.





## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS MAÇÃS *IN NATURA* E TRATADAS

As características físico-químicas das maçãs *in natura* e tratadas pelo processo de branqueamento, impregnação a vácuo e impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2** – Características físico-químicas das maçãs *in natura* e tratadas pelo processo de branqueamento, impregnação a vácuo e impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo.

Carac- terística	Tratamentos					
	<i>in natura</i>	B	B+IV100	B+IV300	B+IV100 +PV50	B+IV300 +PV250
<b>Umida- de (g água/g sólidos secos)</b>	5,9 ±0,2 <sup>b</sup>	5,4 ±0,0 <sup>c</sup>	7,3 ±0,2 <sup>a</sup>	7,3 ±0,2 <sup>a</sup>	6,9 ±0,1 <sup>a</sup>	7,1 ±0,2 <sup>a</sup>
<b>Ativi- dade de água (<i>a<sub>w</sub></i>)</b>	0,991 ±0,003 <sup>a</sup>	0,991 ±0,003 <sup>a</sup>	0,996 ±0,000 <sup>a</sup>	0,992 ±0,001 <sup>a</sup>	0,995 ±0,002 <sup>a</sup>	0,994 ±0,003 <sup>a</sup>
<b>Sólidos solúveis totais (°Brix)</b>	13,3 ±0,4 <sup>a</sup>	13,7 ±0,5 <sup>a</sup>	9,9 ±0,3 <sup>b,c</sup>	9,6 ±0,1 <sup>b</sup>	10,7 ±0,4 <sup>c</sup>	10,5 ±0,1 <sup>b,c</sup>
<b>pH</b>	4,03 ±0,15 <sup>b</sup>	4,05 ±0,10 <sup>b</sup>	4,28 ±0,16 <sup>a,b</sup>	4,26 ±0,19 <sup>a,b</sup>	4,25 ±0,13 <sup>a,b</sup>	4,43 ±0,11 <sup>a</sup>

As letras iguais em uma mesma linha indicam que não há diferença significativa entre as amostras ( $p \leq 0,05$ ), pelo teste de Tukey.

A umidade média para as amostras *in natura* foi de 5,581 g água/g sólidos secos. Goularte e Antunes (1999) encontraram valores de umidade para amostra comercial de 5,690 e 4,956 g água/g sólidos secos e para amostras com excesso de maturação. Córdova (2006) encontrou

valores para maçãs industriais (refugo) de 5,780 g água/g sólidos secos. Laurindo et al. (2007) e Santos et al. (2013) encontraram valores de 7,200 e 7,460 g água/g sólidos secos, respectivamente. O valor médio da umidade das amostras branqueadas (5,369 g água/g sólidos secos) diminuiu em relação ao encontrado para as amostras *in natura* (5,581 g água/g sólidos secos). González-Fésler et al. (2008) observaram um aumento na umidade das amostras branqueadas (por imersão em vapor saturado por 2 minutos e em água 1 – 2 °C por 5 minutos) em razão do rompimento parcial das células da maçã e da consequente absorção de água a partir do resfriamento utilizado após branqueamento. No entanto, neste trabalho não foi realizado a etapa de resfriamento posterior ao branqueamento. Para as amostras submetidas ao processo de IV, a umidade aumentou significativamente, devido ao preenchimento dos poros com a solução impregnante de lactato de cálcio 1 % (m/v). A IV seguida de pulso de vácuo não apresentou diferença significativa em relação às amostras submetidas apenas à IV.

A atividade de água apresentou valor médio de 0,991 para amostras *in natura*. Laurindo et al. (2007) e Córdova (2006) também encontraram valores próximos, em torno de 0,988 e 0,987, respectivamente. Os valores médios de atividade de água nas amostras submetidas aos diferentes tratamentos avaliados não apresentaram diferença significativa.

A concentração de sólidos solúveis das amostras *in natura* apresentou um valor de 13,3 °Brix. Esse valor está abaixo do verificado por Goularte e Antunes (1999) em amostras com excesso de maturação (15,8 °Brix) e por Córdova (2006) em amostras de refugo (15,2 °Brix). Em relação às amostras impregnadas, a concentração de sólidos solúveis totais diminuiu devido à redução da umidade das amostras.

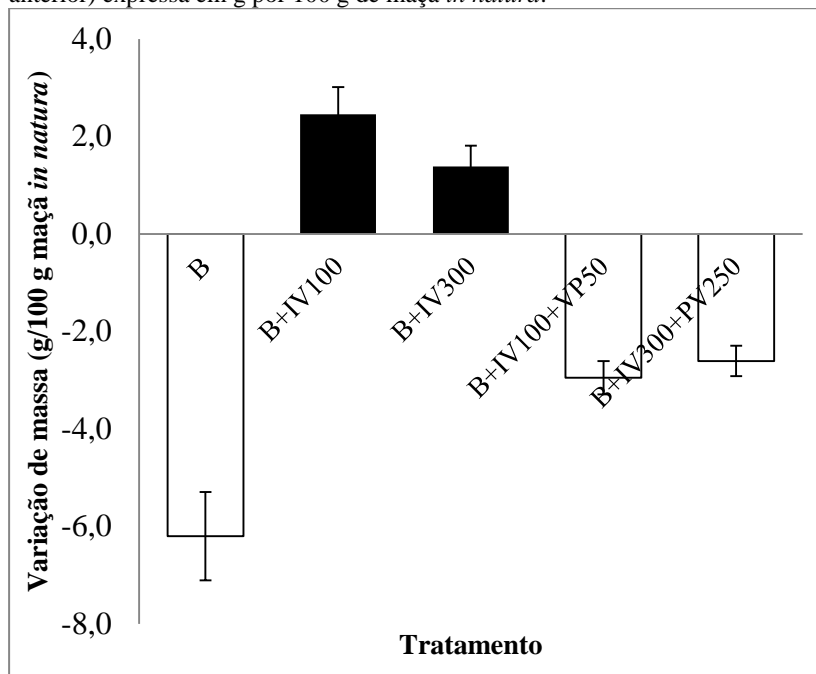
O pH das amostras *in natura* (4,03) foi próximo ao apresentado por Rizzon, Bernardi e Miele (2005) de 3,74, Goularte e Antunes (1999) de 3,86 e Córdova (2006) de 3,93. Observou-se que houve um aumento nos valores de pH para as amostras impregnadas com solução de lactato de cálcio.

#### **4.2 VARIAÇÃO DE MASSA NO BRANQUEAMENTO, IV, IV SEGUIDA DE PULSO DE VÁCUO**

As variações de massa durante os processos de branqueamento, IV e IV seguida de pulso de vácuo são apresentadas na Figura 8. No processo de branqueamento houve uma diminuição de 6 % da massa da amostra em relação à massa da amostra *in natura* devido ao rompimento

da estrutura celular provocando liberação de líquido. O processo de IV provocou um ganho de massa de 2,5 % e 1,4 % em relação ao branqueamento para os tratamentos B+IV100 e B+IV300, respectivamente, devido ao preenchimento dos poros da amostra pela solução externa. Em relação ao pulso de vácuo o qual as amostras foram submetidas após a IV, observou-se uma redução de massa de 2,9 e 2,6 %, para B+IV100+PV50 e B+IV300+PV250, respectivamente, em relação a IV. Isso é resultado da drenagem da solução impregnante presente nos poros. O aumento da intensidade do vácuo promoveu um aumento na variação de massa devido ao maior gradiente de pressão resultando em um maior fluxo de solução para dentro (impregnação) ou para fora (pulso) dos poros.

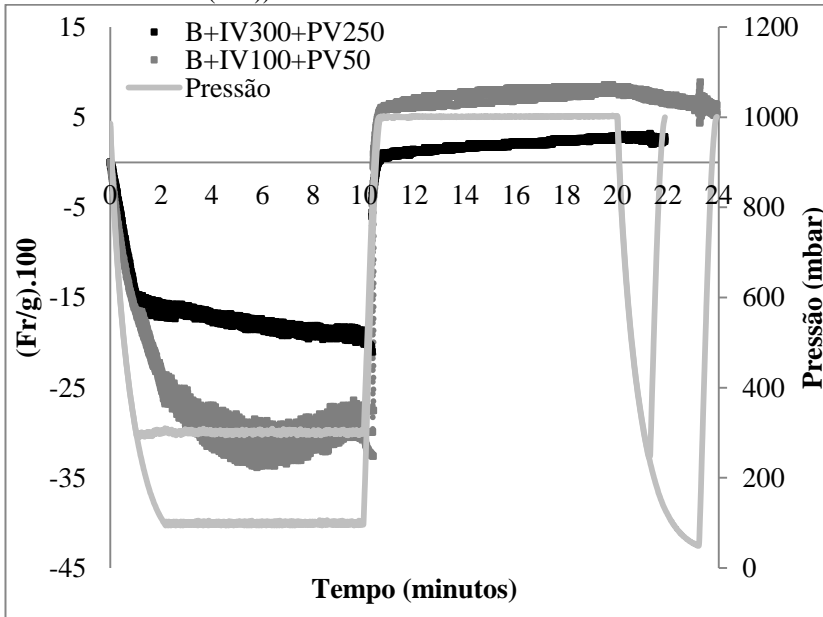
**Figura 8** – Variação de massa em cada tratamento (em relação ao tratamento anterior) expressa em g por 100 g de maçã *in natura*.



### 4.3 CINÉTICA DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO

No estudo da cinética de IV, a massa impregnada e a variação do volume das amostras (previamente branqueadas) foram medidas através da força resultante sobre o sistema durante o processo utilizando uma célula de carga conforme descrito no item 3.9. No instante inicial ( $t=0$ ) dos experimentos, as variações de massa e volume eram nulas. Na Figura 9 são apresentadas os dados da cinética de impregnação variando a pressão utilizada. Os dados B+IV100+PV50 representam a triplicata do processo de IV à pressão de vácuo de 100 mbar seguido de pulso de vácuo a 50 mbar, enquanto os dados B+IV300+PV250 representam a IV à pressão de 300 mbar seguida de pulso de vácuo a 250 mbar. As pressões de vácuo de 300, 250, 100 e 50 mbar foram atingidas nos tempos de 1 minuto, 1 minuto e 30 segundos, 2 minutos, 3 minutos e 20 segundos, respectivamente.

**Figura 9** – Dados experimentais das pressões obtidas durante os processos e da cinética de IV das amostras branqueadas imersas em solução impregnante (1 % de lactato de cálcio (m/v) submetidas a diferentes tratamentos.



Analisando a cinética de IV é possível inferir sobre os diferentes fenômenos que ocorrem durante o processo. Nos primeiros minutos ocorreu uma rápida diminuição da força resultante devido ao aumento do empuxo exercido pelo sistema (haste, recipiente cilíndrico perfurado e amostra) dado pela expansão do gás ocluso nos poros que flui parcialmente para fora da amostra levando parte do líquido nativo. Esta desgaseificação aumentou com a intensidade do vácuo aplicado. Entre 4 e 10 minutos, a força resultante foi praticamente constante, indicando que o equilíbrio do primeiro passo do processo de IV foi alcançado, para a curva de pressão indicada e para a geometria da amostra utilizada.

Quando a pressão atmosférica foi restabelecida, ocorreu um rápido aumento da força resultante, devido à impregnação dos poros pela solução impregnante. Isso implicou em uma mudança na composição da amostra, que resultou em diferenças nos valores obtidos de concentração de sólidos solúveis, pH e VM.

Laurindo et al. (2007), ao estudarem a IV de maçãs encontraram um decréscimo de massa de aproximadamente 5 % quando aplicada uma pressão de vácuo de 100 mbar e um aumento de 20 % quando restaurada a pressão atmosférica. Em relação ao presente trabalho, é possível perceber que o processo de branqueamento, o qual as amostras foram submetidas antes da IV, provocou uma maior desaeração e saída do líquido nativo na etapa de vácuo devido ao rompimento da estrutura celular.

Após os 20 minutos de processo de IV, houve uma redução da força resultante para amostras submetidas ao pulso de vácuo às pressões de 250 e 50 mbar, devido à saída de solução nativa e impregnante da amostra presente nos poros arrastada durante a expansão do gás, semelhante à etapa de vácuo do processo de IV.

#### 4.4 SECAGEM CONVECTIVA

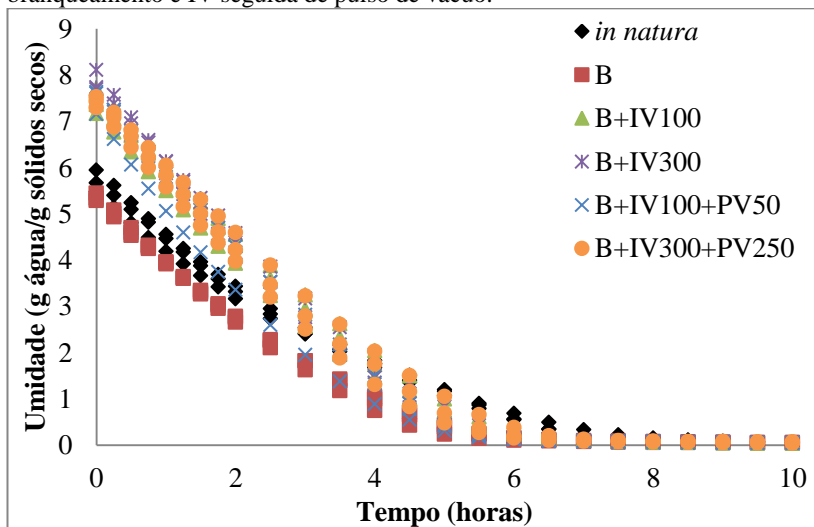
Na Figura 10 são apresentadas os dados de secagem das maçãs *in natura*, branqueadas, branqueadas e impregnadas a vácuo a uma pressão de vácuo de 100 (B+IV100) e 300 (B+IV300) mbar e branqueadas, impregnadas a vácuo seguida de pulso de vácuo a uma pressão de vácuo de 50 (B+IV100+PV50) e 250 (B+IV300+PV250) mbar.

As amostras *in natura* iniciaram a secagem com 5,670 g água/g sólidos secos, as amostras branqueadas com 5,449 g água/g sólidos secos e as amostras impregnadas com valores entre 7,155 e 7,740 g água/g sólidos secos. As amostras submetidas ao processo de branqueamento (B, B+IV e B+IV+PV) e amostras *in natura* atingiram a

umidade de equilíbrio (0,08 g água/g sólidos secos) em tempos diferentes. Isso se deve ao dano causado na parede das células que facilita a retirada de umidade. No entanto, a umidade inicial das amostras não interferiu no tempo de secagem, sendo que o pulso de vácuo aplicado após a impregnação não alterou a condição final de equilíbrio.

Segundo a Resolução do Conselho Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA) nº 12/1978, a umidade máxima permitida para frutas secas é de 0,33 g água/g sólidos secos. Para as condições de secagem utilizadas, as amostras de maçã *in natura* atingiram esse valor após 7 horas de processo, as branqueadas em 5 horas, as B+IV100 e B+IV300 em 6 horas, as B+IV100+PV50 em 5 horas e as B+IV300+PV250 em 5,5 horas. O tempo para atingir a umidade permitida foi menor em amostras que sofreram branqueamento. O mesmo comportamento foi obtido por González-Fésler et al. (2008) ao estudar amostras impregnadas, com e sem branqueamento prévio.

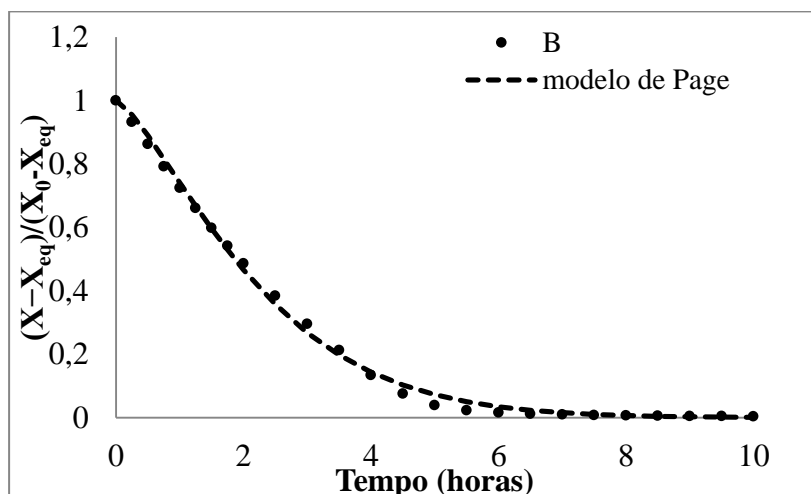
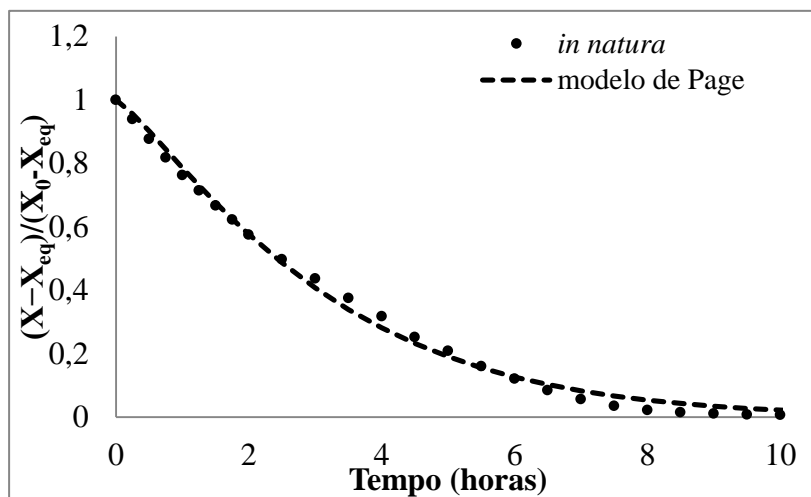
**Figura 10** – Dados de secagem de maçãs em estufa com circulação de ar a 60 °C, umidade relativa de 20 % e velocidade do ar de 1 m/s a partir de amostras *in natura* e submetidas ao branqueamento, branqueamento e IV, e branqueamento e IV seguida de pulso de vácuo.

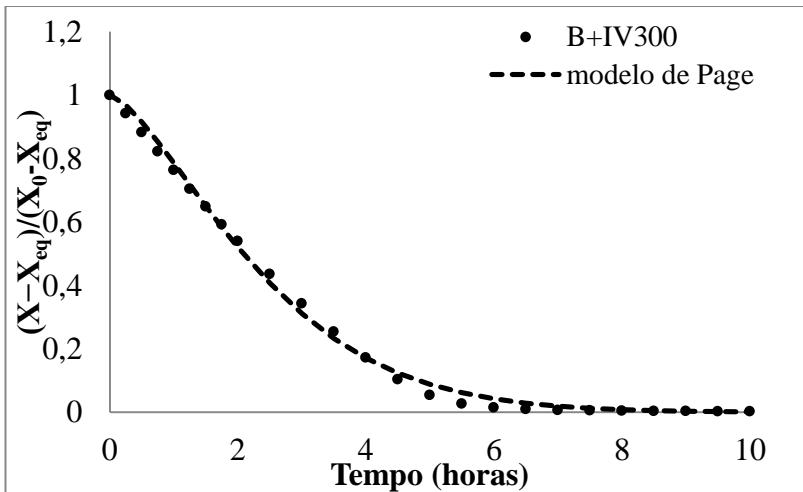
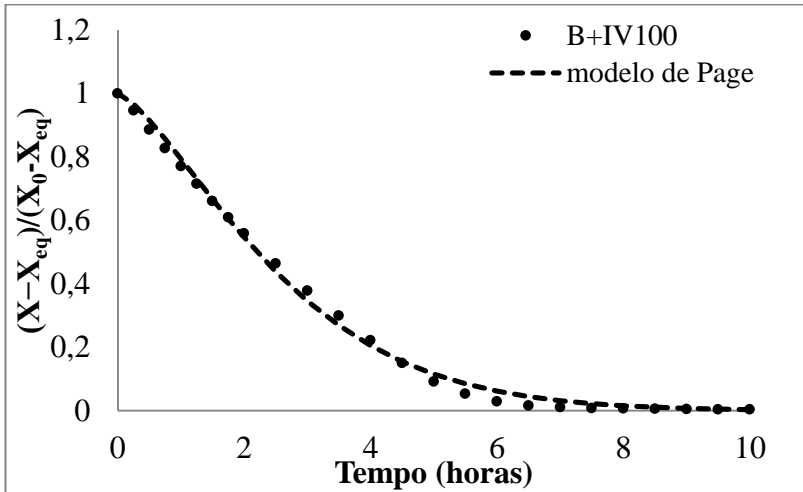


Os valores dos parâmetros e os coeficientes de correlação ( $R^2$ ) dos ajustes do modelo de Page para as amostras *in natura* e tratadas secas a 60 °C são apresentados na Tabela 3. Na Figura 11 e no ANEXO

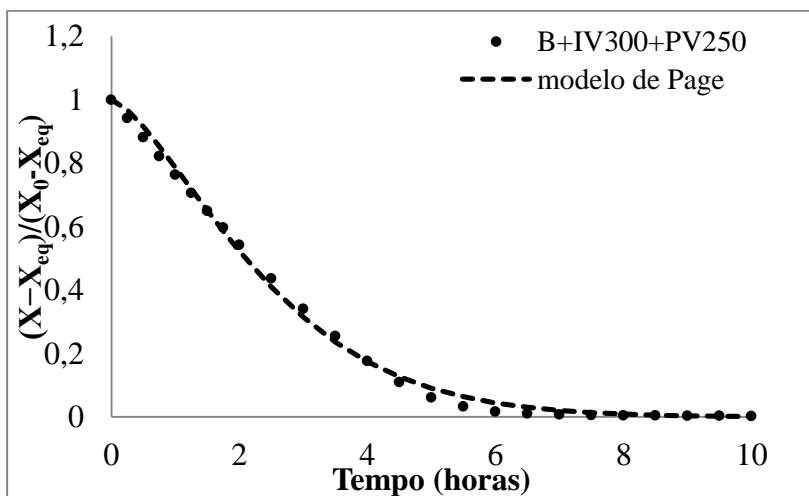
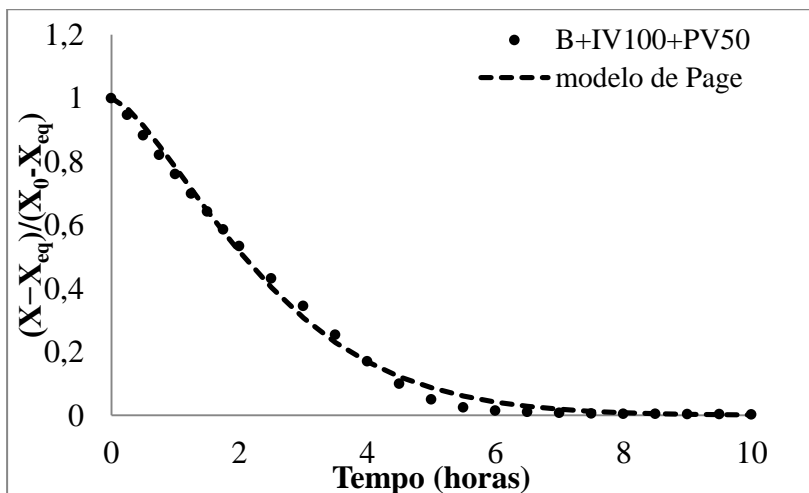
A são apresentadas as cinéticas de secagem das maçãs *in natura*, branqueadas, branqueadas e impregnadas a vácuo, e branqueadas, impregnadas a vácuo seguida de pulso de vácuo e o ajuste pelo modelo empírico de Page.

**Figura 11** – Dados de secagem de maçãs em estufa com circulação de ar a 60 °C, umidade relativa de 20 % e velocidade do ar de 1 m/s a partir de amostras *in natura* e submetidas ao branqueamento, branqueamento e IV, e branqueamento e IV seguida de pulso de vácuo.









**Tabela 3** – Resultados dos ajustes do modelo de Page aos dados de secagem de maçãs.

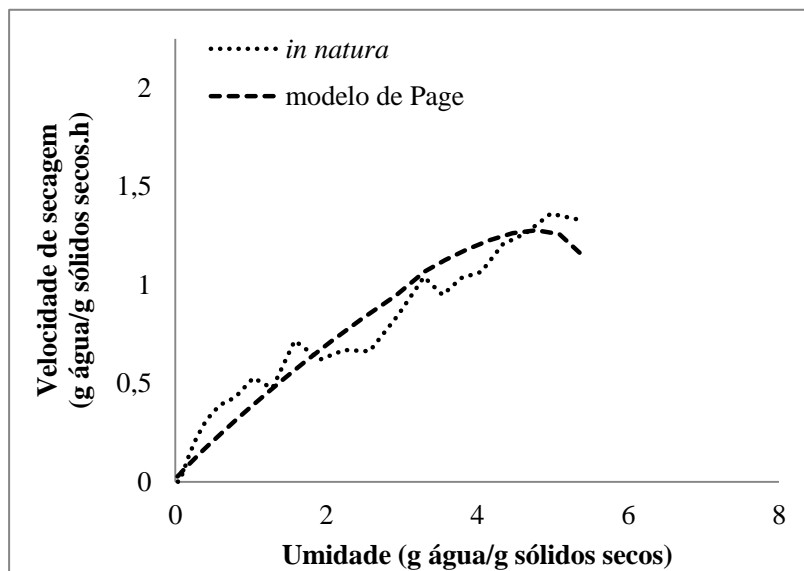
Tratamentos	Parâmetros		
	k	n	R <sup>2</sup>
<i>in natura</i>	0,2172	1,304	0,9981
	0,2399	1,201	0,997
	0,2349	1,245	0,9962
B	0,2997	1,347	0,998
	0,2776	1,306	0,9978
	0,2782	1,317	0,9974
B+IV100	0,2314	1,387	0,9975
	0,2415	1,382	0,9983
	0,1782	1,48	0,9972
B+IV300	0,1994	1,454	0,9969
	0,2419	1,434	0,9975
	0,2487	1,412	0,997
B+IV100+PV50	0,3274	1,312	0,9981
	0,2464	1,426	0,9975
	0,2218	1,464	0,9969
B+IV300+PV250	0,2417	1,427	0,9978
	0,1873	1,452	0,9977
	0,2192	1,434	0,9977

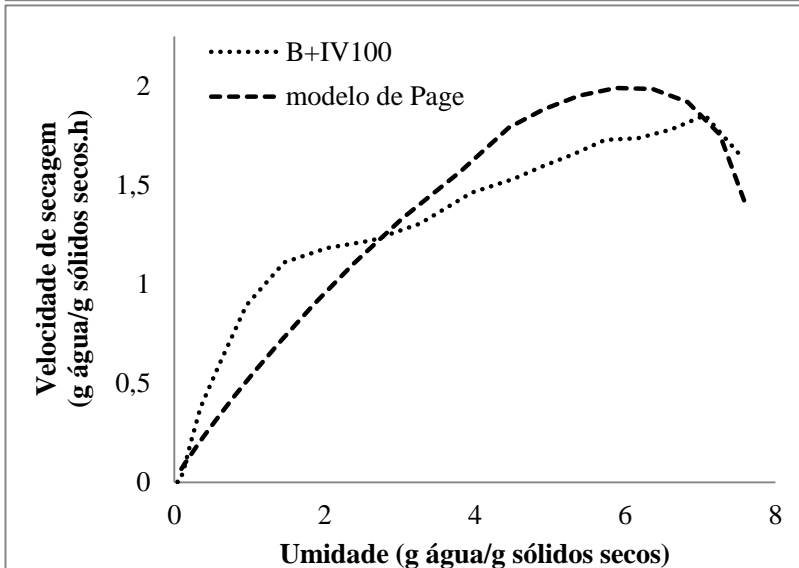
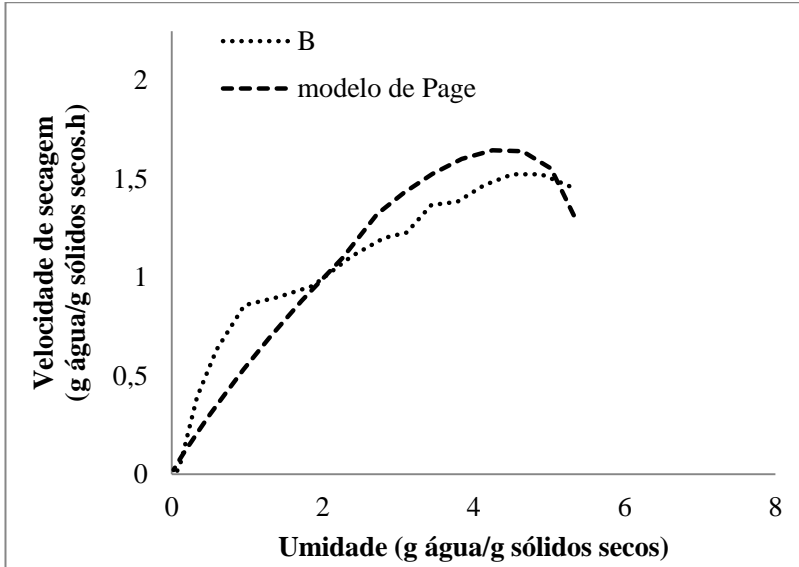
Pela análise do coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>), o modelo de Page representou os dados experimentais do processo de secagem das maçãs *in natura* e tratadas, pois apresentaram valores de R<sup>2</sup> superiores a 0,99. O mesmo comportamento desses modelos empíricos foi reportado na literatura para amostras de morango, uva, polpa do figo-da-índia, kiwi, pêra, entre outros (DOYMAZ, 2008; MADUREIRA et al., 2011; REIS et al., 2011; LAHSASNI et al., 2004; SIMAL et al., 2005). Os valores dos parâmetros do modelo não apresentaram diferença para os tratamentos realizados. Azzouz et al. (2002), em estudo da secagem de uvas em diferentes temperaturas, verificaram que o parâmetro n do modelo de Page está relacionado com a velocidade do ar e umidade inicial das amostras e o parâmetro k com a velocidade do ar. Por outro lado, segundo Simal et al. (2005), os parâmetros dos modelos empíricos não têm significado físico.

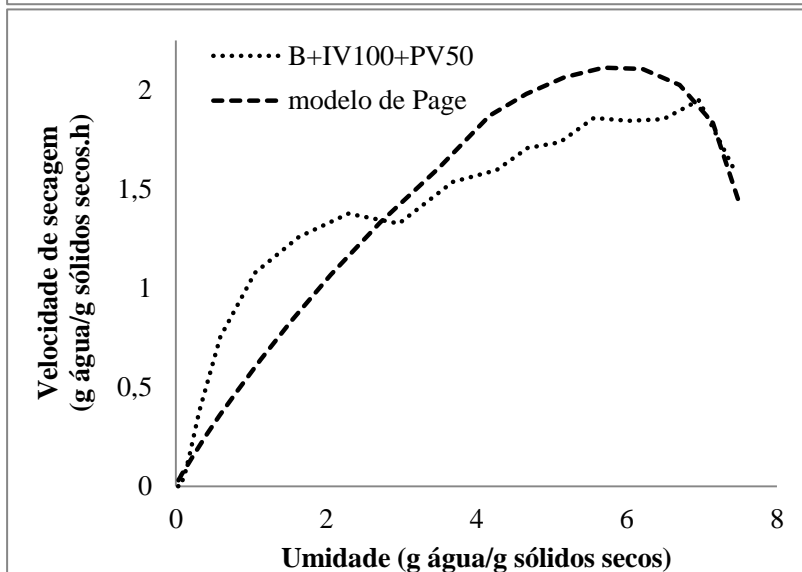
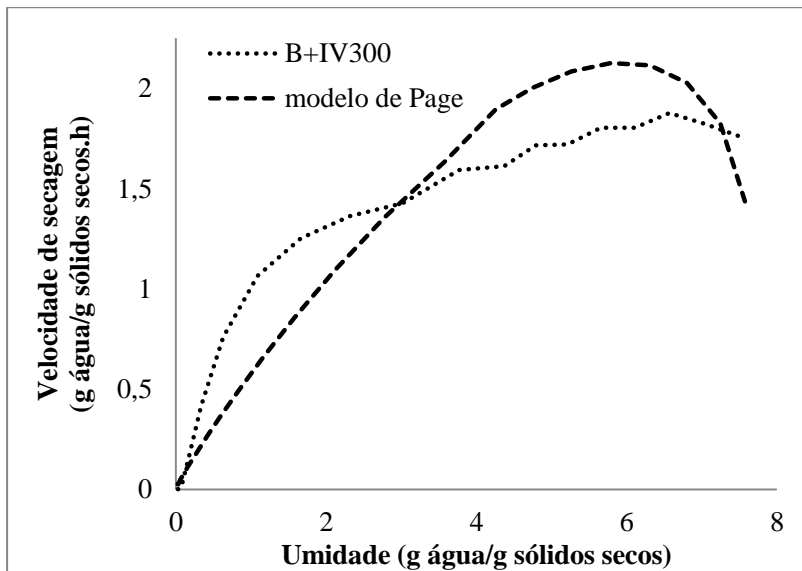
A velocidade de secagem das amostras é dada pela variação da umidade ao longo do tempo e pela derivada da função de ajuste do modelo de Page. Na Figura 12 e no ANEXO B é apresentada a

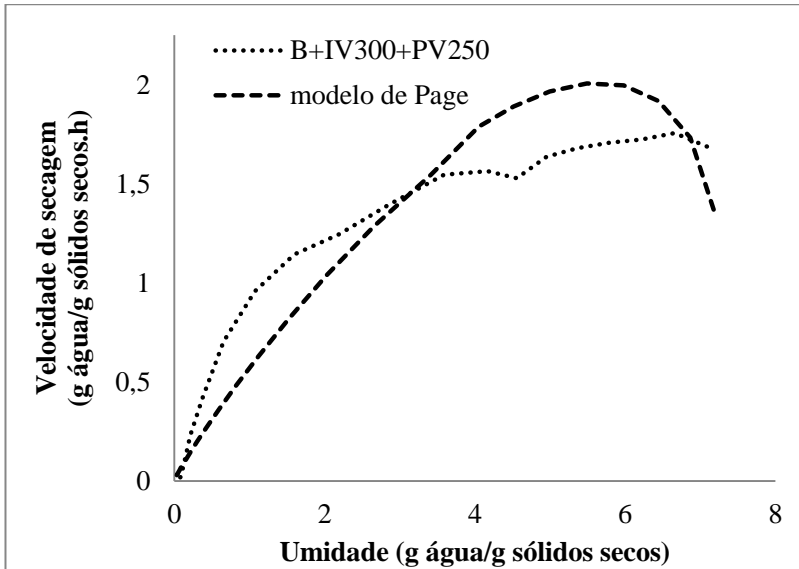
velocidade de secagem em função da umidade de maçãs *in natura*, branqueadas, branqueadas e impregnadas a vácuo a e branqueadas, impregnadas a vácuo seguida de pulso de vácuo.

**Figura 12** – Velocidade de secagem em função da umidade na secagem de maçãs em estufa com circulação de ar a 60 °C, umidade relativa de 20 % e velocidade do ar de 1 m/s a partir de amostras *in natura*, branqueadas, branqueadas e impregnadas a vácuo e branqueadas, impregnadas a vácuo seguida de pulso de vácuo.









Um curto período de velocidade constante foi observado nos dados de secagem e está de acordo com o comportamento de secagem obtido por Lewicki e Jakubczyk (2004) ao estudarem a secagem convectiva de maçã em diferentes temperaturas. Também foi possível notar o momento em que a superfície foi seca em sua totalidade devido à presença dos dois períodos à velocidade decrescente, sendo que a velocidade do movimento do líquido para a superfície é menor que a velocidade com que a massa é evaporada da superfície.

As amostras branqueadas apresentaram velocidade de secagem maior em relação às amostras *in natura*, o que pode ser atribuído ao rompimento da parede celular provocado pelo branqueamento resultando na diminuição da resistência da migração da umidade do interior para a superfície da amostra. O aumento da velocidade de transferência de massa pelo processo de branqueamento também foi observado por Cháfer et al. (2003) em amostras de pêras e por Arévalo-Pinedo e Murr (2006) em abóboras.

A incorporação de cálcio por IV não afetou o comportamento da secagem, porém as amostras impregnadas apresentaram velocidade de secagem maior quando comparadas às amostras *in natura*, por terem sido submetidas ao processo de branqueamento antes da IV e devido ao aumento da umidade ocasionado pelo preenchimento dos poros com

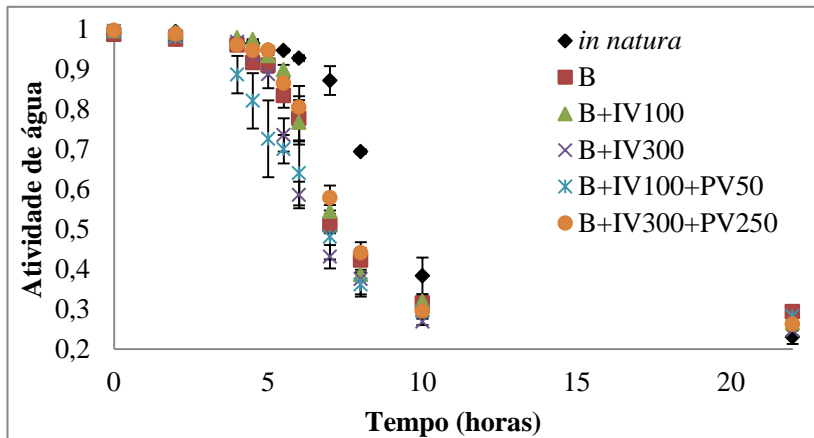
solução impregnante. González-Fésler et al. (2008) obtiveram resultados similares ao estudarem a IV em amostras de maçãs.

As amostras submetidas a IV seguida de pulso de vácuo apresentaram o mesmo comportamento das amostras impregnadas não apresentando diferenças na velocidade de secagem.

Os modelos empíricos têm sido utilizados para descrever as características de secagem de produtos que não possuem geometria clássica para várias condições de processo apesar de negligenciarem os mecanismos do processo de secagem. Porém, o cálculo da velocidade de secagem a partir das derivadas pode levar a uma interpretação errônea dos fenômenos que controlam o processo de secagem. No presente trabalho, a derivada da função de ajuste do modelo de Page (que segue a forma exponencial) não mostrou a existência do período de velocidade constante e dos dois períodos à velocidade decrescente que notavelmente está presente nos dados.

Os valores de atividade de água das amostras *in natura* e tratadas, obtidos ao longo da secagem convectiva, são apresentados na Figura 13, na qual é possível observar que as amostras iniciaram a secagem com valores médios de atividade de água entre 0,997 e 0,987. Ao longo do processo de secagem é notável que o comportamento da evolução da atividade de água quanto ao decréscimo dos valores se mostrou diferente para as amostras B+IV100+PV50 e *in natura*. As amostras que foram submetidas a IV a uma pressão de vácuo de 100 mbar seguido de pulso de vácuo a 50 mbar (B+IV100+PV50) tiveram um decréscimo maior ( $a_w = 0,887$ ) após 4 horas de secagem, o que significa que a aplicação do pulso de vácuo após a impregnação diminuiu a disponibilidade de água livre para evaporação. As amostras *in natura* tiveram esse decréscimo após 7 horas de processo ( $a_w = 0,872$ ). Para as amostras branqueadas, B+IV100, B+IV300 e B+IV300+PV250, o decréscimo gradual ocorreu a partir de 4,5 horas de secagem.

**Figura 13** – Evolução da atividade de água das amostras *in natura* e tratadas pelo processo de branqueamento, branqueamento e impregnação a vácuo e branqueamento, impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo ao longo da secagem convectiva.



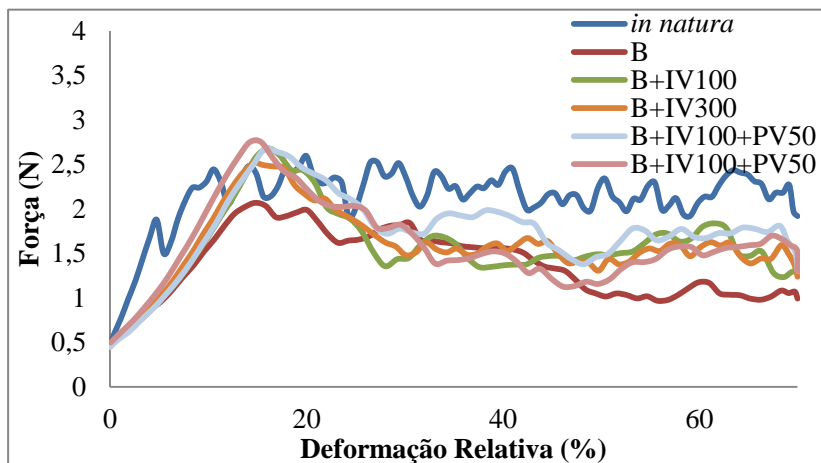
#### 4.5 ENSAIOS MECÂNICOS

Na Figura 14 estão apresentados os dados de força-deformação relativa das amostras *in natura* e tratadas pelo processo de branqueamento, branqueamento e impregnação a vácuo e branqueamento, impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo.

Os dados de força-deformação relativa das amostras *in natura*, apresentadas na Figura 14, apresentaram comportamento semelhante aos dados das amostras tratadas. O processo de IV com o uso de cálcio na solução impregnante não provocou diferenças significativas nas propriedades mecânicas pelo uso de calor no processo de branqueamento realizado anterior a impregnação. Conway et al. (1994) estudaram o efeito do tratamento com solução de cálcio em maçãs pré-armazenadas com o uso de calor e reportaram que não houve diferença na textura. Abbot et al. (2000) ao avaliarem as propriedades mecânicas de maçãs armazenadas que sofreram tratamento com calor e por uma combinação de calor e cálcio, não observaram diferença com o uso do cálcio em relação as amostras tratadas apenas com calor. Esses resultados corroboram os resultados obtidos no presente trabalho.

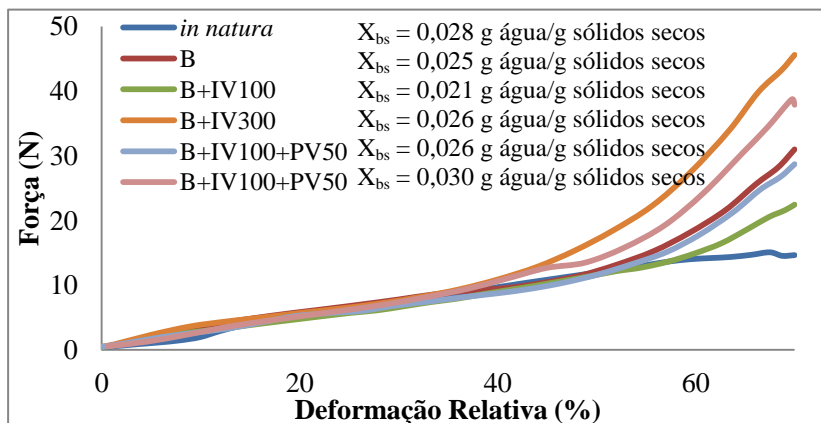


**Figura 14** – Força x deformação relativa de amostras *in natura* e tratadas pelo processo de branqueamento, branqueamento e impregnação a vácuo e branqueamento, impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo.



Os dados de força-deformação relativa dos ensaios mecânicos de penetração para as amostras submetidas ao processo de secagem estão apresentadas na Figura 15.

**Figura 15** – Força x deformação relativa de amostras *in natura* e tratadas pelo processo de branqueamento, branqueamento e impregnação a vácuo e branqueamento, impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo e submetidas a secagem em estufa a 60 °C.



É possível observar que para as amostras de maçãs *in natura* houve uma diminuição na força necessária para penetrar as amostras, entretanto não foi observada nenhuma diferença em amostras tratadas com cálcio em relação às branqueadas, como observado anteriormente.

As amostras tratadas (B, B+IV100, B+IV300, B+IV100+PV50 e B+IV300+PV250) apresentaram comportamento semelhante ao observado para as amostras *in natura*. No entanto, apesar da baixa umidade, as amostras não apresentaram o comportamento característico de um produto crocante, devido ao encolhimento ocorrido durante a secagem.

Materiais com característica crocante apresentam curva de força-deformação com diversos picos, até a ruptura efetiva do alimento em ensaios mecânicos. Em produtos com estrutura frágil e quebradiça, a força oscila muito durante a quebra da parede e a desintegração da estrutura (TAKEUCHI, SABADINI e CUNHA, 2005; DIJKSTERHUIS, et al., 2007).

#### 4.6 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO

As concentrações de cálcio para as amostras de maçãs *in natura*, tratadas pelo processo impregnação a vácuo e impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo (previamente branqueadas) e submetidas a secagem em estufa a 60 °C são apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4** – Efeito da intensidade do vácuo na concentração de cálcio de maçãs *in natura* e tratadas pelo processo impregnação a vácuo e impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo (previamente branqueadas) e submetidas a secagem em estufa a 60 °C.

Tratamento	Concentração de Ca (mg Ca/kg sólidos secos)
<i>in natura</i>	465,9 ± 135,4 <sup>a</sup>
B+IV100	4481,5 ± 509,7 <sup>c</sup>
B+IV300	4847,7 ± 402,4 <sup>c</sup>
B+IV100+PV50	2926,2 ± 192,1 <sup>b</sup>
B+IV300+PV250	4435,2 ± 232,5 <sup>c</sup>

As letras iguais indicam que não há diferença significativa entre as amostras ( $p \leq 0,05$ ), pelo teste de Tukey.

A concentração de cálcio nas amostras de maçã *in natura* foi de 465,9 mg Ca/kg sólidos secos, valor próximo ao obtido pela Associação Brasileira dos Produtores de Maçã (2013) de 457 mg Ca/kg sólidos

secos. Amarante et al. (2012) encontraram valor de concentração de cálcio de 254,78 mg Ca/kg sólidos secos. De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO (2011) a concentração é de 127, 39 mg Ca/kg sólidos secos. Essa variação na concentração de cálcio em maçãs pode estar relacionada com a região de cultivo, safra e cultivar de maçã (AMARANTE et al., 2012).

O processo de IV aumentou as concentrações de cálcio, devido à troca do líquido nativo presente no interior dos poros pela solução impregnante contendo 1 % de lactato de cálcio. González-Fésler et al. (2008) ao analisarem o processo de IV em maçãs, não branqueadas e branqueadas, por imersão em solução contendo cálcio, obtiveram concentrações de cálcio de 7.818,5 e 11.525,4 mg Ca/kg sólidos secos para amostras não branqueadas e branqueadas, respectivamente. Anino, Salvatori e Alzamora (2006) submetem as amostras a uma pressão de vácuo de 40 mbar por 10 minutos seguido de pressão atmosférica por 10 minutos e encontraram uma concentração de cálcio de 8.165 e 14.557, 6 mg Ca/kg sólidos secos em diferentes lotes. As concentrações de cálcio nas maçãs impregnadas encontradas pelos autores é maior, em relação ao presente trabalho, devido a maiores concentrações de cálcio contida na solução impregnante por eles utilizados.

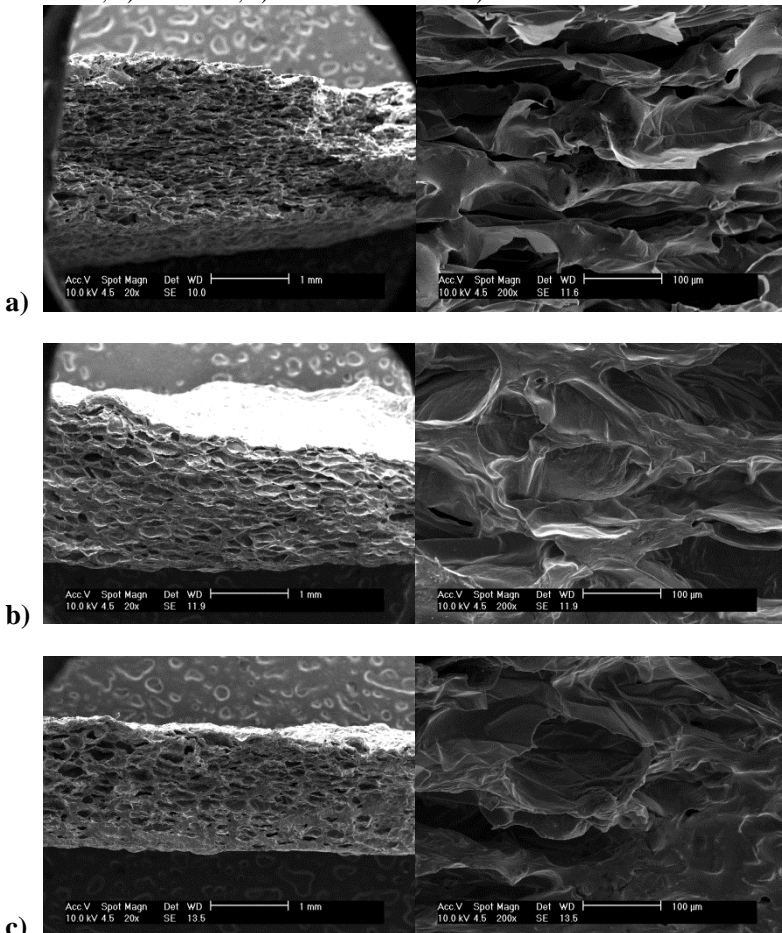
Avaliando o processo de IV, a intensidade do vácuo aplicado não provocou diferenças significativas na concentração de cálcio das amostras. Schmidt (2006) ao analisar o processo de salga por imersão de cortes de peito de frango em soluções salinas submetidos às pressões de vácuo de 10, 50 e 200 mmHg, não observou diferença significativa nas concentrações de sal das amostras. Deumier et al. (2003) em estudo do tratamento de cortes de peito de peru em soluções saturadas de NaCl observaram que as amostras não apresentaram diferença significativa nos ganhos de sal quando submetidas às pressões de vácuo de 300 mmHg e 525 mmHg.

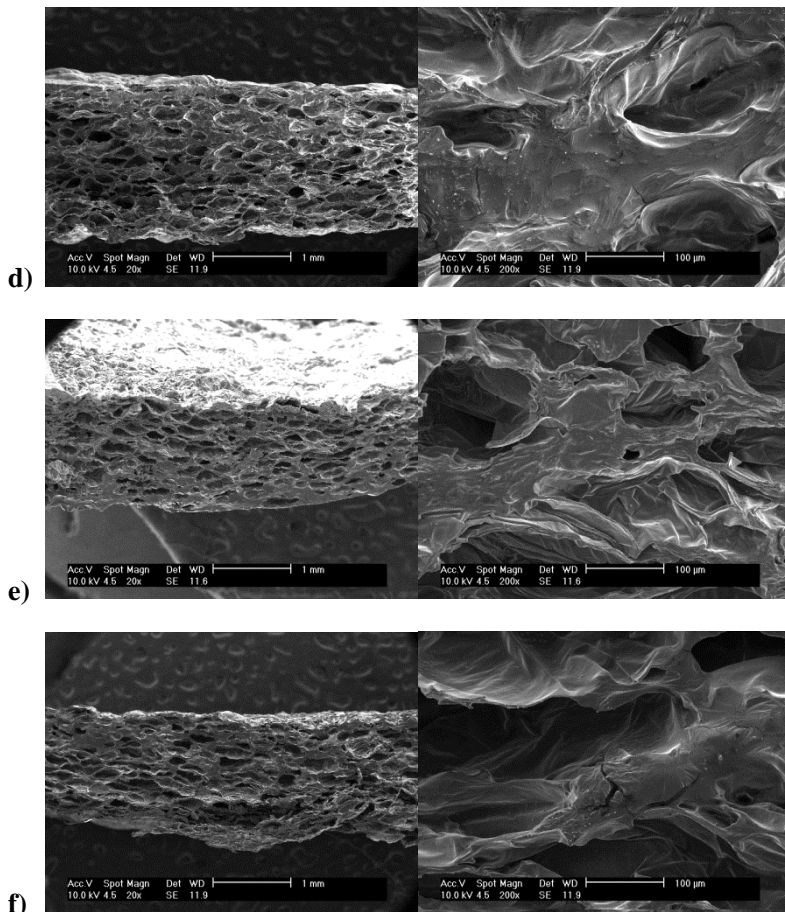
No entanto, diferenças na intensidade do vácuo durante o pulso de vácuo aplicado após a impregnação provocaram diferenças significativas na concentração de cálcio. Após submeter as amostras a uma pressão de vácuo de 50 mbar no pulso de vácuo, observou-se que a concentração de cálcio diminuiu cerca de 35 % em relação a etapa anterior de impregnação. Isso se deve à ação do mecanismo de HDM que promove a saída do cálcio juntamente com o líquido nativo da amostra. Entretanto, amostras submetidas à pressão de vácuo de 250 mbar não apresentaram diferenças significativas.

## 4.7 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL

As micrografias das amostras de maçã *in natura* e tratadas pelo processo de branqueamento, impregnação a vácuo (previamente branqueadas) e impregnação a vácuo seguida da aplicação de pulso de vácuo (previamente branqueadas) e submetidas a secagem em estufa a 60 °C apresentadas na Figura 16 foram utilizadas para observar as mudanças ocorridas na estrutura das amostras.

**Figura 16** – Micrografias da fratura das amostras de maçã: a) *in natura*, b) B, c) B+IV100, d) B+IV300, e) B+IV100+PV50 e f) B+IV300+PV250.





A partir das microscopias é possível observar o rompimento da estrutura celular causada pelo branqueamento e o preenchimento dos espaços intercelulares com cálcio. González-Féslser et al. (2008) ao analisarem a estrutura, através de microscopia óptica, de amostras de maçãs branqueadas e impregnadas após o processo de branqueamento, observaram que o branqueamento do tecido resultou na ruptura de membranas e em um grande dano nas paredes das células. Com branqueamento prévio, as paredes celulares de amostras impregnadas com cálcio mostraram menos ruptura do que amostras apenas branqueadas, indicando que a penetração do cálcio melhorou a estrutura da parede de tecidos branqueados. A espessura fina das amostras

observada é uma consequência do processo de secagem convectiva que provoca a retratação do volume da amostra devido à migração da água do interior das células atravessando a membrana celular e saindo para o ambiente através da estrutura porosa do alimento. Esses gradientes de umidade dentro do produto induzem a tensões microestruturais levando ao encolhimento do produto (PANYAWONG e DEVAHASTIN, 2007).

## 5. CONCLUSÃO

A utilização do processo de branqueamento anterior à impregnação a vácuo provoca uma maior desaeração e saída do líquido nativo na etapa de vácuo. Na secagem, as amostras branqueadas atingem a umidade de equilíbrio em tempos menores quando comparadas as amostras *in natura*.

O processo de impregnação a vácuo permite a incorporação de cálcio em maçã, sendo que a intensidade de vácuo utilizada não apresenta influência na quantidade de cálcio impregnada para as condições estudadas. A concentração de cálcio na solução e as pressões utilizadas são suficientes para produzir uma maçã desidratada fortificada com cálcio.

O pulso de vácuo aplicado após a impregnação reduz a massa da amostra, mas não interfere no tempo de secagem, sendo que, quando utilizadas baixas pressões, a concentração de cálcio na amostra é reduzida.

O processo de secagem convectiva produz frutas secas com umidade e atividade de água reduzidas, porém, o produto final não apresenta característica de crocância devido ao encolhimento da amostra proveniente da secagem com ar quente.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, J. A.; KLEIN, J. D.; CAMPBELL, T. A.; CONWAY, W. S.; SAMS, C. E. Sensory and firmness measurements of calcium and heat-treated apples. *Journal of texture Studies*, v. 31, p. 109-121, 2000.

ABPM. Associação dos Brasileiros Produtores de Maçã. Propriedades. Disponível em: <http://www.abpm.org.br/>. Acessado em: 10/05/2013.

ALONSO, L. F. T. Algoritmos de seleção e dimensionamento de secadores. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

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

AMARANTE, C. V. T.; ARGENTA, L. C.; BASSO, C.; SUZUKI, A. Composição mineral de maçãs 'Gala' e 'Fuji' produzidas no Sul do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, p. 550-560, 2012.

ANINO, S. V.; SALVATORI, D. M.; ALZAMORA, S. M. Changes in Calcium Level and Mechanical Properties of Apple Tissue due to Impregnation with Calcium Salts. *Food Research International*, v. 39. n. 2, p. 154-164, 2006.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 31 de 13 de janeiro de 1998. Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/41aa2e004aaa77199e71de4600696f00/Portaria\\_SVS\\_MS\\_31\\_de\\_13\\_de\\_janeiro\\_de\\_1998.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/41aa2e004aaa77199e71de4600696f00/Portaria_SVS_MS_31_de_13_de_janeiro_de_1998.pdf?MOD=AJPERES). Acessado em: 14/05/2013.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – CNNPA nº 12 de 1978. Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/e57b7380474588a39266d63fbc4c6735/RESOLUCAO\\_12\\_1978.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/e57b7380474588a39266d63fbc4c6735/RESOLUCAO_12_1978.pdf?MOD=AJPERES). Acessado em: 14/05/2013.

A. O. A. C. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis, 18th ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.

ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X. Kinetics of vacuum drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*): Modeling with shrinkage. *Journal of Food Engineering*, v. 76, p. 562-567, 2006.

AZZOUZ, S.; GUIZANI, A.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. *Journal of Food Engineering*, v. 55, p. 323-330, 2002.

BARAT, J. M.; FITO, P.; CHIRALT, A. Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *Journal of Food Engineering*, v. 49, p. 77-85, 2001.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; VEJA-MERCADO, H., Dehydration of Foods. Chapman & Hall, 1996.

BARRETT, D. M.; GARCIA, E.; WAYNE, J. E. Textural modification of processing tomatoes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 38, p. 173-258, 1998.

BETORET, N.; PUENTE, L.; DÍAZ, M. J.; PAGÁN, M. J.; GARCÍA, M. J.; GRAS, M. L.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; FITO, P. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. *Journal of Food Engineering*, v. 56, p. 273-277, 2003.

BLEICHER, J. História da Macieira. p.29-36. In. EPAGRI. A cultura da macieira. Florianópolis-SC, 743 p., 2006.

CANO-CHAUCA, M.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; MARQUES, J. A.; SILVA, P. I. Curvas de secagem e avaliação da atividade de água da banana passa. *Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v.22, n.1, p.121-132, 2004.

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

CHÁFER, M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; ORTOLÁ, M. D.; CHIRALT, A. Long term osmotic dehydration of orange peel at atmospheric pressure and by applying a vacuum pulse. *Food Science and Technology International*, v. 7, p. 511-520, 2001.

CHÁFER, M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; FERNÁNDEZ, B.; PÉREZ, L.; CHIRALT, A. Effect of blanching and vacuum pulse application on osmotic dehydration of pear. *Food Science and Technology International*, v. 9, n. 5. p. 321-328, 2002.

CHÁFER, M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; FERNÁNDEZ, B.; PÉREZ, L.; CHIRALT, A. Effect of Blanching and Vacuum Pulse Application on Osmotic Dehydration of Pear. *Food Science and Technology International*, v.9, p. 321-328, 2003.

CHIRALT, A.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; TALENS, P.; MORAGA, G.; AYALA, A.; FITO, P. Changes in mechanical properties throughout osmotic processes. Cryoprotectant effect. *Journal of Food Engineering*, v. 49, p. 129-135, 2001a.

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, 2001b.

CONWAY, W. S.; SAMS, C. E.; WANG, C. Y.; ABBOTT, J. A. Additive effects of postharvest calcium and heat treatment on reducing decay and maintaining quality in apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 119, p. 49-53, 1994.

CÓRDOVA, K. R.V. Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã Fuji comercial e industrial. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Setor de Tecnologia - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

DEUMIER, F. et al. Pulsed vacuum brining of poultry meat: interpretation of mass transfer mechanisms. *Journal of Food Engineering*, v. 58, n. 1, p. 85-93, 2003.

DIJKSTERHUIS, G.; LUYTEN, H.; WIJK, R.; MOJET, J. A new sensory vocabulary for crisp and crunchy dry model foods. *Food Quality and Preference*, v. 18, p. 37-50, 2007.

DOYMAZ, I. Convective drying kinetics of strawberry. *Chemical Engineering and Processing*, v. 47, p. 914-919, 2008.

DOYMAZ, I. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, v. 61, p. 359-364, 2004.

DONG, X., WROLSTAD, R.E., SUGAR, D. Extending shelf life of fresh-cut pears. *Journal of Food Science*, v. 65, 181-186, 2000.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Mello, L. M. R. *Embrapa Uva e Vinho*, 2006.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Vieira, M. V. *Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola*, 2011.

FAO – **Food and Agriculture Organization** – Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>. Acesso em: 14/11/2012.

HONORES, W. J. C. Estudo de secagem de maçã (*Malus* spp. Variedade *Golden Delicious*). Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

FELLOWS, P., *Food Processing Technology. Principles and Practice*. 2 Ed. Boca Raton: CRC Press, 2000.

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

FITO, P.; PASTOR, R. Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, v. 21, n. 4, p. 513-519, 1994.

FITO, P.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; PARDO, P., Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering*, v. 27, n. 3, 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. Vacuum impregnation of plant tissues. In: *Minimally processed fruits and vegetables*. Maryland: Aspen publication, cap. 11, p. 189-204, 2000.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. *Princípios das operações unitárias*. Guanabara Dois S.A., 1982.

GEANKOPLIS, C. J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Compañía Editorial Continental, 1998.

GERSTNER, G. Dairy products: The calcium challenge. *International Food Ingredients*, v. 3, p. 45-48, 2002.

GONZÁLEZ-FÉSLER, M.; SALVATORI, D.; GÓMEZ, P.; ALZAMORA, S. M. Convective air drying of apples as affected by blanching and calcium impregnation. *Journal of Food Engineering*, v. 87, p. 323-332, 2008.

GOULARTE, V. D. S.; ANTUNES, P. L. Caracterização físico química de maçãs Fuji concentradas com açúcares e desidratadas. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 5, p. 149-151, 1999.

GRAS, M. L.; VIDAL, D.; BETORET, N.; CHIRALT, A.; FITO, P. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, v. 56, p. 279-284, 2003.

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; ALMENAR, E.; OCIO, M. J.; GAVARA, R., 2006. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest

life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Postharvest Biology Technology*, v. 39, p. 247–253.

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., *Unit Operations Food Engineering*. CRC Press, 2003.

JACKMAN R. L.; STANLEY D. W. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends In Food Science & Technology*, v. 6, n. 6, p. 187-194, 1995.

KEEY, R. B. *Drying Principles and Practice*. Pergamon Press, Oxford, 1972.

KOBLITZ, M. G. B. *Bioquímica de Alimentos*. Guanabara Koogan S.A. 2008.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J. T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*, v. 61. p. 173-179, 2004.

LAMIKANRA, O.; WATSON, M. A. Effect of calcium treatment temperature on freshcut cantaloupe melon during storage. *Journal of Food Science*, v. 69, p. 468-472, 2004.

LAURINDO, J. B.; STRINGARI, G. B.; PAES, S. S.; CARCIOFI, B. A. M. Experimental determination of the dynamics of vacuum impregnation of apples. *Journal of Food Science*, v. 72, p. 470-475, 2007.

LEWICKI, P. P.; JAKUBCZYK, E. Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apple. *Journal of Food Engineering*, v. 64, p. 307–314, 2004.

LUNA-GUZMÁN, I.; BARRETT, D. M. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology Technology*, v. 19, p. 61–72, 2000.

MADUREIRA, I. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FILHO, E. D. S. Cinética de secagem da polpa do figo-da-índia. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 13, p. 345-354, 2011.

MALTINI, E.; TORREGGIANI, D.; VENIR, E.; BERTOLO, G. Water activity and the preservation of plant foods. *Food Chemistry*, v. 82, n. 1, p. 79-86, 2003.

MANGANARIS, G.A., VASILAKAKIS, M., DIAMANTIDIS, G., MIGNANI, I., 2007. The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes, incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. *Food Chemistry*, v. 100, p. 1385–1392, 2000.

MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; CHIRALT, A.; FITO, P. Mechanical properties and structural changes in apple (Var. Granny Smith) due to vacuum impregnation with cryoprotectants. *Journal of Food Science*, v. 63, n. 3, 1998.

McCREADY, R. M. Pectin. Em: JOSELYN, M. A. *Methods in food analysis*. Academic Press, 2ª edição, cap. XIX, p. 565-599, 1970.

MORAGA, M. J.; MORAGA, G.; FITO, P. J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. *Journal of Food Engineering*, v. 90, p. 372-379, 2009.

MÚJICA-PAZ, H.; VALDEZ-FRAGOSO, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI-CHANES, J. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. *Journal of Food Engineering*, v. 57, n. 4, p. 305-314, 2003a.

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, n. 4, p. 307-314, 2003b.

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

PANYAWONG, S.; DEVAHASTIN, S.; Determination of deformation of a food product undergoing different drying methods and conditions

via evolution of a shape factor. *Journal of Food Engineering*, v. 78, p. 151-161, 2007.

PARK, K. J. Estudo Comparativo de Coeficiente de Difusão sem e com encolhimento. Dissertação (Tese de Livre-Docência) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas / UNICAMP, Campinas, 1987.

PEREIRA, R.C. Pecado é não comer. *Revista Saúde! É vital*, São Paulo, p.18-20, 2006.

PEREIRA, L. B.; SIMIONI, F. J.; CARIO, S. A. F. Evolução da produção de maçã em Santa Catarina: novas estratégias em busca de maior competitividade. *Ensaio FEE*, v. 31, p. 209-234, 2010.

PELEG, M. On fundamental issues in texture evaluation and texturization - A view. *Food Hydrocolloids*, v. 20, p. 405-414, 2006.

PIRKUL, T., TEMIA, A., ERDEM, Y. K. Fortification of yoghurt with calcium salts and its effect on starter microorganisms and yoghurt quality. *International Dairy Journal*, v. 7, p. 547-552, 1997.

RAYBAUDI-MASSILIA, R. M.; MOSQUEDA-MELGAR, J.; SOBRINO-LOPEZ, A.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTIN-BELLOSO, O. Shelf-life extension of fresh-cut “Fuji” apples at different ripeness stages using natural substances. *Postharvest Biology and Technology*, v. 45, p. 265-275, 2007.

REIS, R. C.; BARBOSA, L. S.; LIMA, M. L.; REIS, J. S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 4, p. 347-353, 2011.

RICO, D., MARTÍN-DIANA, A. B., FRÍAS, J. M., HENEHAN, G. T. M., BARRY-RYAN, C. Effect of ozone and calcium lactate treatments on browning and texture properties of fresh-cut lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 86, p. 2179-2188, 2006.

RIZZON, L. A.; BERNARDI, J.; MIELE, A. Características analíticas dos sucos de maçã Gala, Golden Delicious e Fuji. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 25, p. 750-756, 2005.



ROUDAUT, G.; DACREMONT, C.; VALLÈS PÀMIES, B.; COLAS, B.; LE MESTE, M. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science & Technology*, v. 13, p. 217-227, 2002.

SAELEAW, M.; SCHLEINING, G. A review: Crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic–mechanical destructive techniques. *Journal of Food Engineering*, v. 105, p. 387-399, 2011.

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

SANTOS, M. L.; MACHADO, A. V; ALVES, F. M. S.; COSTA, A. P. L. M. Estudo físico-químico de maçã desidratada em secador convectivo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n. 1, p. 30-37, 2013.

SAURE, M. C. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticulturae*, v. 105, p. 65-89, 2005.

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

SHARMA, G. P.; PRASAD, S. Drying of garlic cloves by microwave-hot air combination. *Journal of Food Engineering*, v. 50, p. 99-105, 2001.

SIMAL, S., GARAU, M. C., FEMENIA, A.; ROSSELLÓ, C. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, v. 66, p. 323-328, 2005.

SMITH, J. S.; HUI, Y. H. *Food Processing: Principles and Applications*. Blackwell Publishing, 2004.

SINGH, G., ARORA, S., SHARMA, G. S., SINDHU, J. S., KANSAL, V. K., SANGWAN, R. B. Heat stability and calcium bioavailability of

calcium-fortified milk. *LWT-Food Science and Technology*, v. 40, p. 625-631, 2006.

SOUZA, V. C.; OCÁCIA, G. C. Cinética da secagem de maçã em secador convectivo. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009.

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

TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos / NEPA-UNICAMP. 4ª Edição - Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 161p., 2011.

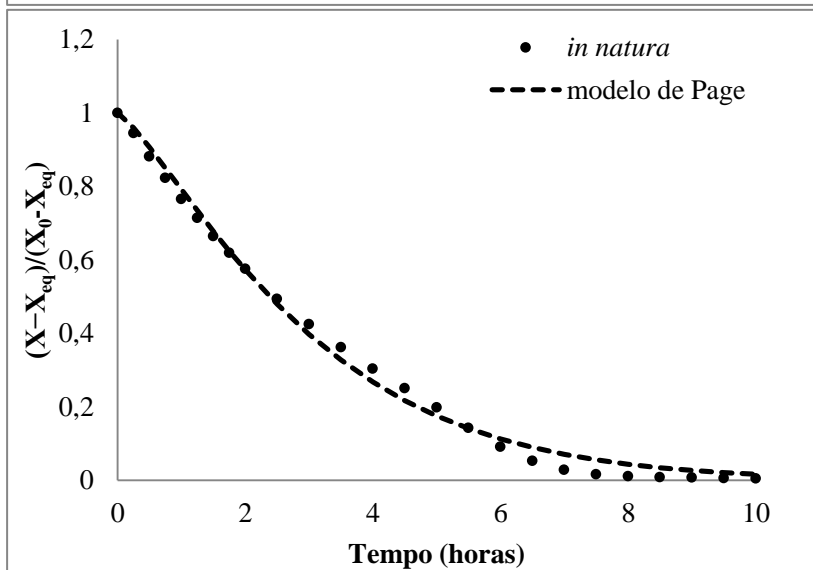
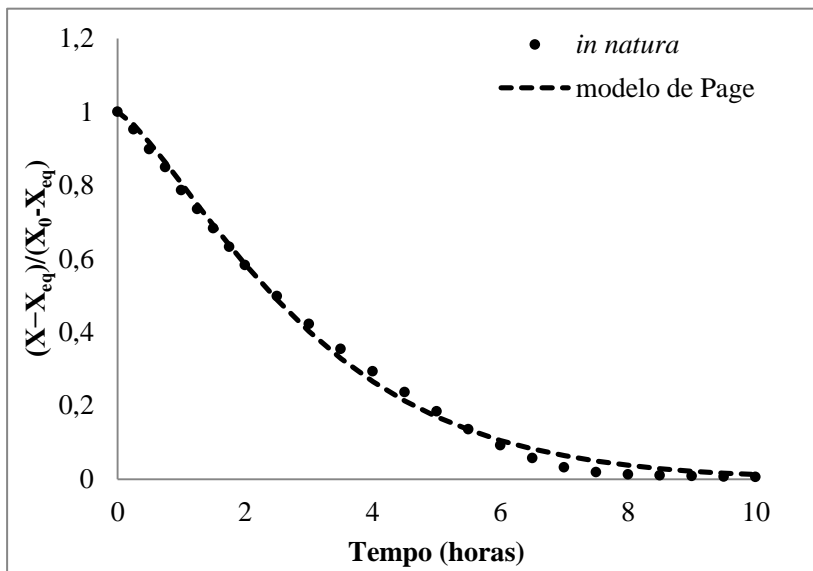
TAKEUCHI, K. P.; SABADINI, E.; CUNHA, R. L. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 25, p. 78-85, 2005.

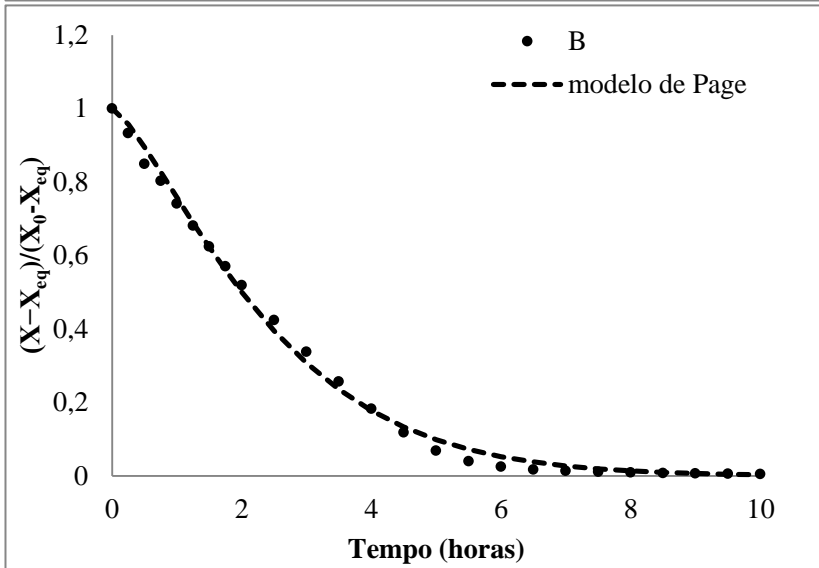
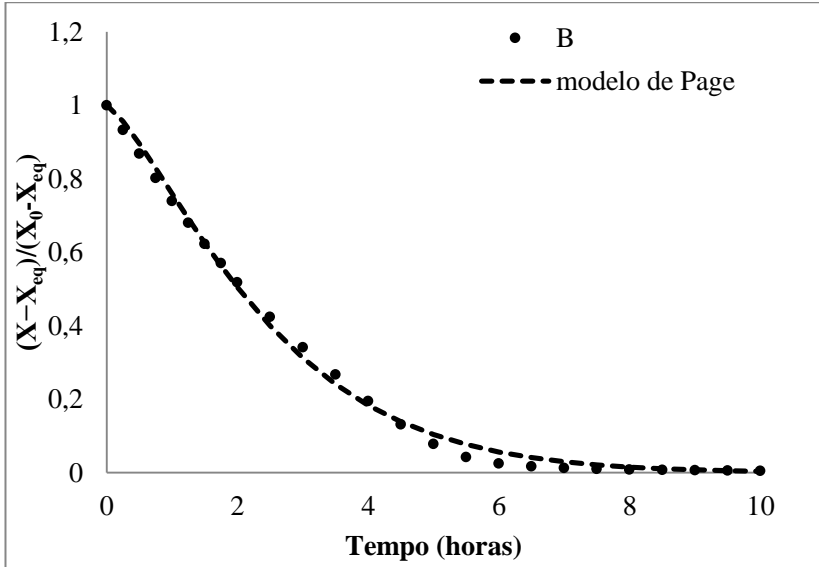
VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J.; MORGAN, A. I. *Food Dehydration*. Westport: AVI Publishing, 1973. 2v.

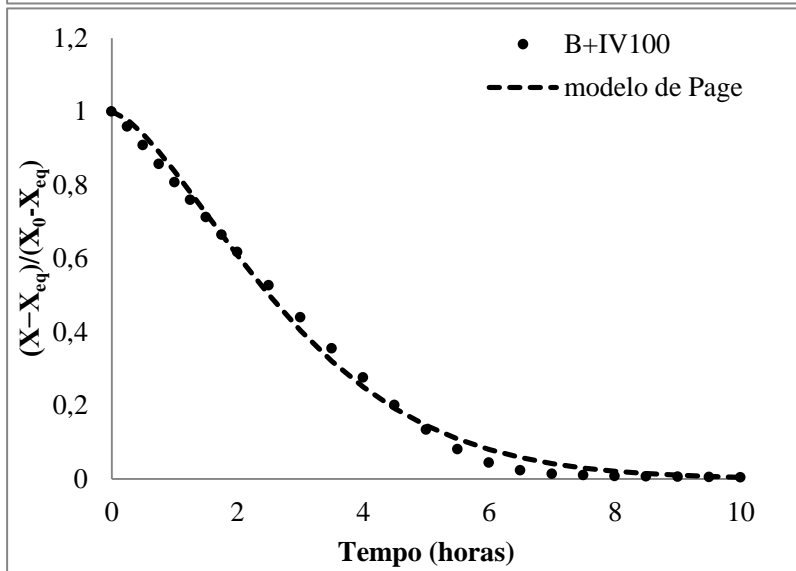
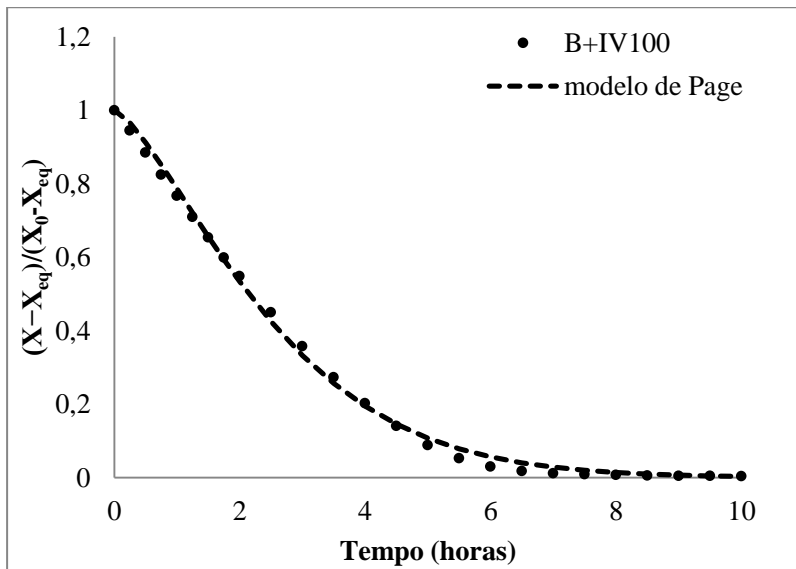
XIE, J.; ZHAO, Y. Nutritional enrichment of fresh apple (Royal Gala) by vacuum impregnation. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* v. 54, n. 5, p. 387-398, 2003.

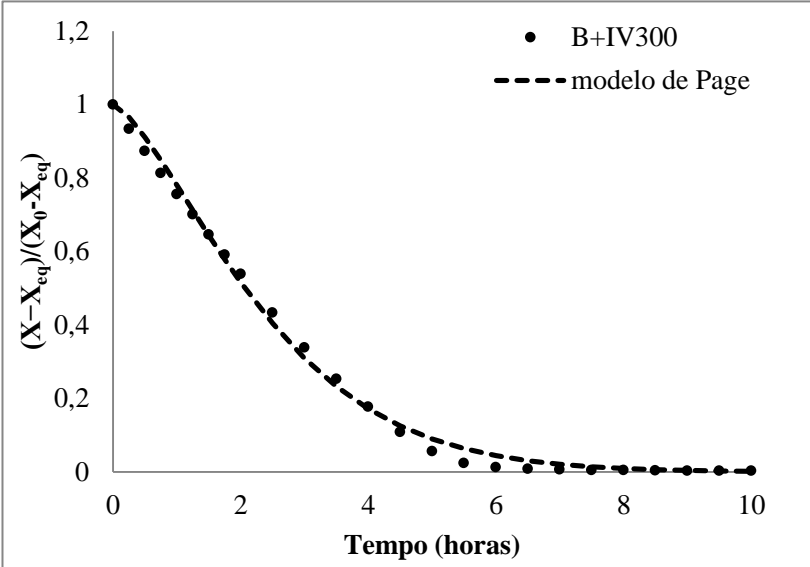
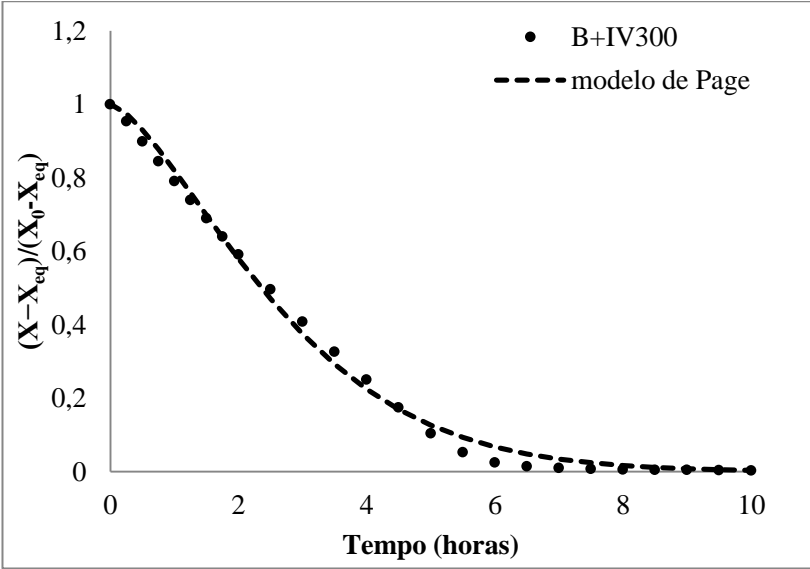
ZOHARY, D; HOPF, M. *Domestication of plants in the old world*. Nova York: Oxford University Press, 200. 316 p.

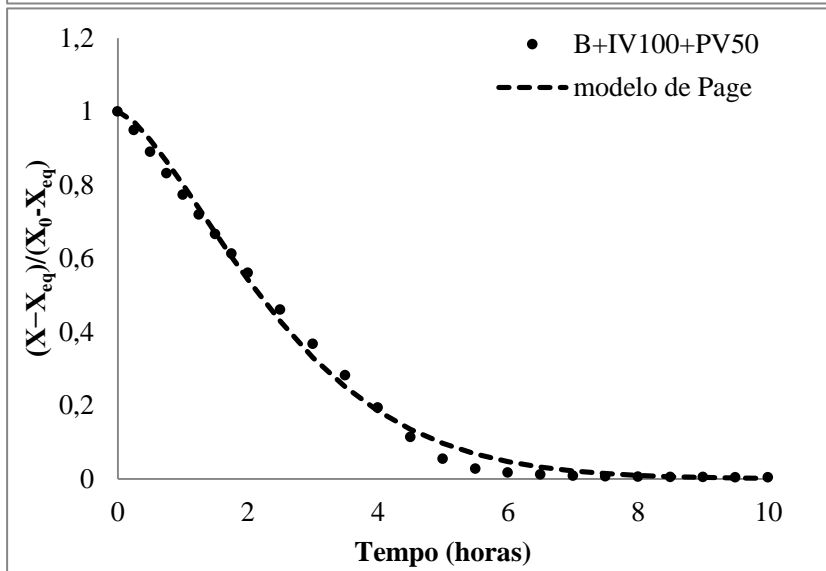
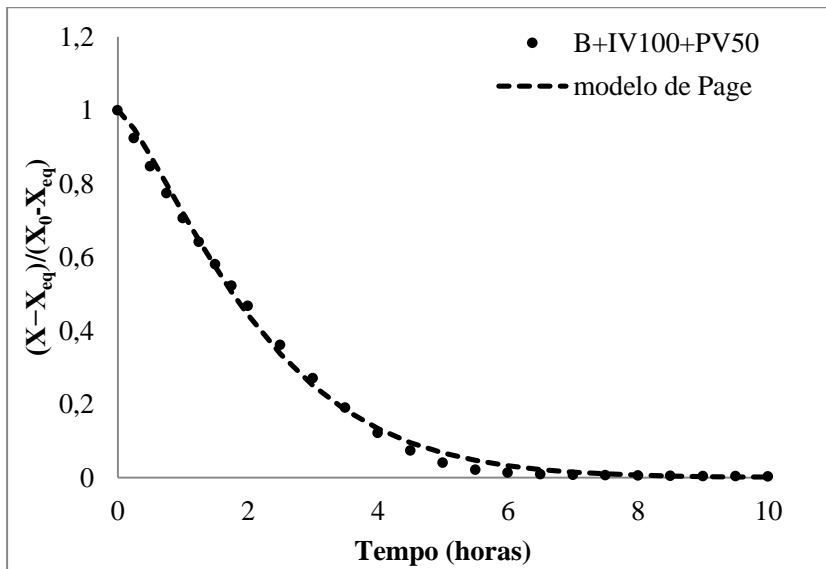
**ANEXO A – Cinética de secagem de maçãs *in natura*, B, B+IV100, B+IV300, B+IV100+PV50 e B+IV300+PV250.**

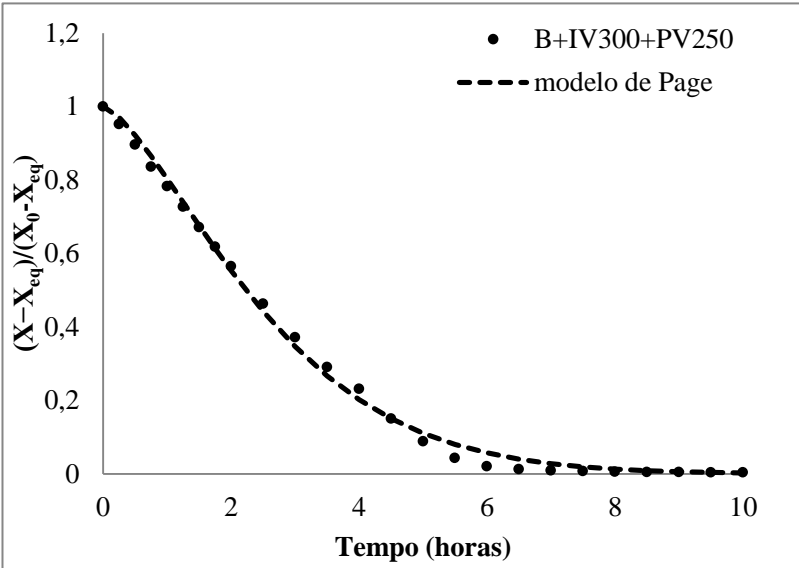
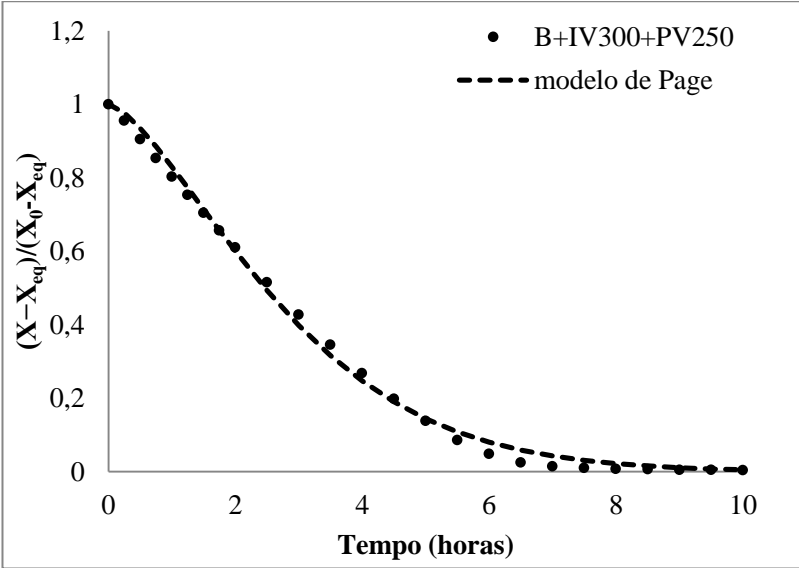














**ANEXO B – Velocidade de secagem de maçãs *in natura*, B, B+IV100, B+IV300, B+IV100+PV50 e B+IV300+PV250.**

