



JOSÉ LUCENA BARBOSA JUNIOR

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MELÃO *ORANGE*: ESTUDO CINÉTICO E
QUALIDADE DO PRODUTO**

CAMPINAS

2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

JOSÉ LUCENA BARBOSA JUNIOR

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE MELÃO *ORANGE*: ESTUDO CINÉTICO E
QUALIDADE DO PRODUTO**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Miriam Dupas Hubinger

Co-orientador: Prof. Dr. Maurício Cordeiro Mancini

Este exemplar corresponde à versão final da tese defendida pelo aluno José Lucena Barbosa Junior e orientada pela Profa. Dra. Miriam Dupas Hubinger e co-orientada pelo Prof. Dr. Maurício Cordeiro Mancini.

(Prof. Miriam Dupas Hubinger - Orientadora)

Campinas

2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Engenharia de Alimentos
Helena Joana Flipsen - CRB 8/5283

B234d Barbosa Junior, José Lucena, 1975-
Desidratação osmótica de melão *orange* : estudo cinético e qualidade do produto / José Lucena Barbosa Junior. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Miriam Dupas Hubinger.
Coorientador: Maurício Cordeiro Mancini.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Modelagem matemática. 2. Antioxidantes. 3. Micrografia. I. Hubinger, Miriam Dupas, 1957-. II. Mancini, Maurício Cordeiro. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Osmotic dehydration of orange-fleshed melon : study of kinetics and product quality

Palavras-chave em inglês:

Mathematical modeling

Antioxidants

Micrography

Área de concentração: Engenharia de Alimentos

Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora:

Miriam Dupas Hubinger [Orientador]

Graziella Colato Antonio

Leila Mendes Pereira Rodrigues

Louise Emy Kurozawa

Rosiane Lopes da Cunha

Data de defesa: 12-09-2014

Programa de Pós-Graduação: Engenharia de Alimentos

Banca Examinadora

Profa. Dra. Miriam Dupas Hubinger
Orientadora

Profa. Dra. Graziella Colato Antonio
Membro Titular
Universidade Federal do ABC

Profa. Dra. Leila Mendes Pereira Rodrigues
Membro Titular
UNIMEP

Profa. Dra. Louise Emy Kurozawa
Membro Titular
Universidade Estadual de Londrina

Profa. Dra. Rosiane Lopes da Cunha
Membro Titular
FEA/UNICAMP

Profa. Dra. Florencia Cecilia Menegalli
Membro Suplente
FEA/UNICAMP

Profa. Dra. Patrícia Moreira Azoubel
Membro Suplente
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Renata Valeriano Tonon
Membro Suplente
EMBRAPA Agroindústria de Alimentos

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi propor um modelo matemático baseado na redução da taxa de perda de água durante o processo de desidratação osmótica de melão tipo *honeydew orange flesh*. Paralelamente, procurou-se verificar a influência da temperatura (25-45 °C), tipo (sacarose e xarope de milho) e concentração da solução (29 a 57% em peso de sacarose e 34 a 66% em peso de xarope de milho) na cinética do processo de desidratação/impregnação e determinar as melhores condições de temperatura e concentração das soluções osmóticas, mediante planejamentos fatoriais 2². O estudo cinético do processo foi realizado em fatias de melão com 5 mm de espessura e 30 x 40 mm² de área de transferência submetidas ao processo por até 1440 minutos. Os dados experimentais obtidos foram ajustados aos modelos de Fick, Peleg e ao modelo de *n*-redução da taxa inicial de desidratação/impregnação proposto neste trabalho. Para fins práticos, usou-se a redução à metade da taxa inicial (*n*=2) e o modelo foi chamado de “tempo de meia vida”. Por fim, avaliou-se a qualidade do produto processado em ambos os solutos. Para tal, foram avaliados o perfil de açúcares, o teor de carotenoides, a variação dos parâmetros instrumentais de cor, a capacidade antioxidante (FRAP, DPPH e teor de fenólicos totais) e os parâmetros estruturais (ensaios de compressão axial e micrografia) das amostras *in natura* e processadas osmoticamente nos tempos de *n*-reduções (*n*=2, 3, 4, 6, 8, 10 e ∞). O modelo proposto apresentou boa correlação aos dados experimentais de perda de água e de ganho de sólidos, cujos valores calculados nos tempos necessários para *n*-reduções da taxa inicial foram fortemente influenciados pelo valor de *n*. Nas soluções de sacarose, os valores médios da perda de água calculados nesses instantes ($PA(t_{1/n})$) foram: 16,1±2,4; 21,9±4,8; 24,8±3,4; 27,6±3,7 e 29,8±4,1 (g_{água}/100 g_{amostra}); para *n* igual a 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Já nas soluções de xarope de milho obtiveram-se: 17,9±3,5; 22,8±4,8; 36,7±5,7; 29,6±6,3 e 32,0±6,8 (g_{água}/100 g_{amostra}); para *n* igual a 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Consequentemente, quando $n \rightarrow \infty$, $PA(t_{1/n})$ tendeu a PA_{∞} . O planejamento experimental demonstrou que, de modo geral, a concentração foi a variável mais importante no processo e apresentou efeito positivo nos processos de desidratação (PA) e de impregnação (GS). A temperatura

apresentou efeito positivo, sobretudo, em altas concentrações de sacarose e xarope de milho. As condições escolhidas para avaliar a qualidade dos produtos processados foram de 28 °C e 53% de sacarose e 28 °C e 61% de xarope de milho. O xarope de milho apresentou uma melhor eficiência na transferência de massa do processo (menores ganhos de sólidos) e ambos os solutos influenciaram a qualidade de maneira semelhante. O xarope de milho, forneceu amostras com menor alteração na doçura relativa, mas com maiores alterações estruturais.

ABSTRACT

The aim of this work was to propose a mathematical model based on dehydration rate reduction during the osmotic dehydration of orange flesh honeydew melon. The influence of temperature (25-45 °C), type (sucrose and corn syrup solids) and concentration of solution (29 to 57% w/w of sucrose and 34 to 66% w/w of corn syrup solids) on kinetics of dehydration/impregnation processes was verified. A 2² full factorial design was utilized in order to provide the best process conditions (temperature and concentration of solution) for each type of solute. Melon slices (5 mm thick and 30 x 40 mm² superficial area) were subjected to osmotic solutions for 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 600 and 1440 minutes. The experimental data were fitted by the models of Peleg, Fick and the n-reduction time of dehydration/impregnation time model, which was proposed in the present work. The half-life ($n=2$) concept was used for practical purposes. Final product quality was evaluated, in terms of sugar profile, carotenoids content, color measurements, antioxidant capacity (FRAP, DPPH and total phenolics content) and the structure (compression tests and micrographs) for *in natura* and processed sample during the n-reduction times of dehydration rates ($n=2, 3, 4, 6, 8, 10$ e ∞). The proposed model presented a good correlation with the experimental data of water loss (WL) and solids gain (SG), whose obtained values were strongly influenced by process extension (n). In sucrose solutions, the WL values obtained in n-reduction times of dehydration rates were 16.1 ± 2.4 ; 21.9 ± 4.8 ; 24.8 ± 3.4 ; 27.6 ± 3.7 e 29.8 ± 4.1 (g_{water}/100 g_{sample}); for $n = 2, 3, 4, 5$ e 6 , respectively. For corn syrup solutions, the values were 17.9 ± 3.5 ; 22.8 ± 4.8 ; 36.7 ± 5.7 ; 29.6 ± 6.3 e 32.0 ± 6.8 (g_{water}/100 g_{sample}), $n = 2, 3, 4, 5$ e 6 , respectively. Consequently, if $n\rightarrow\infty$, $WL(t_{1/n})$ has tended to the water loss at equilibrium values (WL_{∞}). The full factorial desing showed that the solution concentration was the most important variable, presenting a positive effect on dehydration and impregnation processes. The solution temperature also showed a positive effect, at high sucrose and corn syrup solids concentrations. In order to evaluate the product quality, the following conditions were chosen: 28 °C (for both osmotic agents) and 53% w/w for sucrose and 61% w/w for corn syrup. The corn syrup solids presented a greater efficiency on mass

transfer (similar WL, but lower SG) and both solutes provided products with similar quality attributes. However, the samples osmo-dehydrated in corn syrup solutions showed relative sweetness values similar to fresh fruits, but a greater structural changes than those dehydrated in sucrose solutions.

SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	XXIII
LISTA DE TABELAS.....	XXIX
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XXXIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	5
2.1 Objetivo geral.....	5
2.2 Objetivos específicos	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1 Melão (Cucumis melo)	7
3.1.1 Origens e mercado.....	7
3.1.2 Variedades	10
3.1.3 Capacidade antioxidante de frutas.....	13
3.1.4 Efeito do processamento sobre a estrutura de frutas	17
3.2 Desidratação osmótica	19
3.2.1 Variáveis que influenciam no processo.....	23
3.2.1.1 Fatores do produto	23
3.2.1.2 Fatores do processo.....	24
3.2.1.2.1 Concentração e tipo de solução osmótica	24
3.2.1.2.2 Temperatura da solução	26
3.2.1.2.3 Tempo de processo.....	26
3.2.2 Análise e Modelamento do processo.....	28
3.2.2.1 Análise	28
3.2.2.2 Mecanismos de transferência de massa	28

3.2.2.3	Modelagem matemática da cinética de desidratação osmótica.....	31
3.2.3	Qualidade de produtos processados osmoticamente	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1	Materiais	39
4.1.1	Matéria-prima.....	39
4.1.2	Agentes osmóticos.....	39
4.1.3	Padrões cromatográficos e demais reagentes	39
4.2	Métodos.....	40
4.2.1	Composição centesimal e determinações físico químicas.....	40
4.2.1.1	Análise de Carboidratos	42
4.2.1.1.1	Extração.....	42
4.2.1.1.2	Derivatização.....	43
4.2.1.1.3	Condições cromatográficas	46
4.2.1.1.4	Avaliação da doçura relativa (ADR).....	46
4.2.1.2	Análise dos Carotenoides.....	47
4.2.1.3	Análise instrumental de cor	48
4.2.1.4	Capacidade Antioxidante	49
4.2.1.4.1	Preparo dos Extratos.....	49
4.2.1.4.2	Determinação da capacidade antioxidante nos extratos	49
4.2.2	Análises estruturais	56
4.2.2.1	Ensaio de compressão uniaxial.....	56
4.2.2.2	Análise da microestrutura	57
4.2.3	Desidratação osmótica.....	58
4.2.3.1	Metodologia experimental dos ensaios de desidratação osmótica.....	58
4.2.3.2	Delineamento Experimental dos ensaios de desidratação osmótica	58
4.2.3.3	Cinética de desidratação osmótica	61
4.2.3.3.1	Modelamento Matemático das Cinéticas de desidratação osmótica	61
4.2.4	Ajustes dos modelos matemáticos.....	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67

5.1	Caracterização da matéria-prima	67
5.1.1	Determinação dos carboidratos por CG	72
5.1.2	Capacidade antioxidante	77
5.2	Caracterização das soluções osmóticas empregadas.....	80
5.2.1	Perfil de carboidratos das soluções	80
5.2.2	Viscosidade e atividade de água das soluções	81
5.2.2.1	Curvas reológicas das soluções aquosas de xarope de milho	84
5.2.2.2	Efeito da temperatura e da concentração sobre a viscosidade e atividade de água das soluções osmóticas.....	87
5.3	Desidratação osmótica	90
5.3.1	Efeito das variáveis do processo	90
5.3.1.1	Tipo de soluto	90
5.3.1.2	Concentração da solução.....	92
5.3.1.3	Temperatura da solução	96
5.3.2	Cinéticas de PA e GS nas condições estabelecidas nos pontos centrais	98
5.3.2.1	Modelamento matemático da cinética de desidratação osmótica	102
5.3.2.1.1	Modelo de Peleg.....	102
5.3.2.1.2	Modelo difusional	107
5.3.2.1.3	Modelo do tempo de redução da taxa (tempo de meia vida)	111
5.3.2.1.4	Determinação do tempo de processamento	118
5.3.3	Efeito da Temperatura e concentração	122
5.3.3.1	Valores de perda de água e ganho de sólidos no equilíbrio ($1/K_{2,i}$)	122
5.3.3.2	Valores das taxas iniciais de PA e GS ($1/K_{1,i}$).....	129
5.3.3.3	Valores dos tempos de redução das taxas de desidratação / impregnação	135
5.3.3.4	Valores de PA e GS obtidos no tempo de meia vida	141
5.3.3.5	Determinação das melhores condições de temperatura e concentração das soluções	146
5.3.3.5.1	Cinéticas de PA, GS e a_w obtidos nos tempos de n-reduções	147
5.3.3.5.2	Cinéticas de cor, teor de carotenoides totais e capacidade antioxidante	152
5.3.3.5.3	Ensaio de compressão uniaxial e microscopia das amostras	162

6	CONCLUSÕES.....	175
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	177
8	ANEXO.....	207
8.1	Características do MOR-REX ® 1940 usado como agente osmótico.	207
8.2	Certificado do padrões de dissacarídeos	208

“Os céus proclamam a glória de Deus e o firmamento anuncia a obra das suas mãos. Um dia discursa a outro dia e uma noite revela conhecimento a outra noite. Não há linguagem, nem há palavras e deles não se ouve nenhum som; no entanto, por toda a terra se faz ouvir a sua voz e as suas palavras, até os confins do mundo.” (Salmos 19:1-4)

A Deus, dedico.

“A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode. Isso fica sendo a minha última e mais elevada descoberta.” (Isaac Newton)

“Ninguém é tão sábio que nada tenha para aprender, nem tão tolo que nada tenha pra ensinar.” (Blaise Pascal)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por suas claras demonstrações de Amor em minha trajetória.

À minha querida esposa, Maria Ivone, aos meus amados filhos, Vítor Hugo e Thiago (a caminho...), pela compreensão e amor fundamentais durante esta longa jornada.

A minha mãe e ao meu pai (*in memoriam*); e aos meus irmãos (Sandro, Sérgio, Sidney e Simone) por forjarem meu caráter e alegrarem-se em cada pequena conquista em minha vida.

Aos meus cunhados, irmãos que a vida me presenteou, Fabiane, Ana Lúcia, Juliana, Alexandre, Ana Paula, Eduardo, José Luiz, João Luiz e Renata.

Ao José Luiz Jacintho (*in memoriam*), sogro querido, que ao seu modo especial foi um grande incentivador dessa jornada.

A Sandra e Norma, por serem exatamente quem são.

A toda a minha família e amigos.

À Profa. Miriam pela orientação, carinho, paciência e sinceridade (enorme), durante estes anos de trabalho.

Ao meu co-orientador, Professor Maurício Mancini, pela confiança depositada e pelo privilégio de trabalharmos juntos.

Aos membros da banca examinadora, pelas observações e contribuições dadas que enriqueceram notavelmente este trabalho.

Às técnicas do Laboratório (Patrícia e Zildene), pela compreensão e paciência durante minhas andanças àquele espaço.

À Vanessinha e Mariana por sempre estarem dispostas a me ajudar (e muito!).

Ao Luiz e à Carol por terem dado aquela contribuição fundamental no laboratório.

À Gláucia pela imensa paciência e desapego, por sempre se colocar à disposição, com imensa prestatez.

Ao Marcus com “U”, por cada contribuição sua nesse trabalho. E não foram poucas! Pelo esmero, dedicação, confiança e sua amizade.

Aos colegas do IT/UFRRJ, pela compreensão das ausências e terem confiado na conclusão desta etapa. Em especial à Sandra Gregório, Tatiana Saldanha, André e Romulo pela amizade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Comparativo das exportações brasileiras de frutas frescas no período de 1998 a 2008. (Fonte: IBRAF, 2001, 2008).....	9
Figura 3.2 - Principais tipos de melão comercializados no Brasil.....	11
Figura 3.3 - Melão tipo honeydew orange flesh.	13
Figura 4.1 - Metodologia experimental do processo de extração dos carboidratos.	44
Figura 4.2 - Metodologia experimental do processo de derivatização dos carboidratos.....	45
Figura 4.3 - Metodologia experimental do processo de obtenção dos extratos para determinação da capacidade antioxidante.	50
Figura 4.4 - Metodologia experimental da determinação da capacidade antioxidante nos extratos via método DPPH.	53
Figura 4.5 - Metodologia experimental da determinação da capacidade antioxidante nos extratos via método FRAP.....	54
Figura 4.6 - Metodologia experimental da determinação da capacidade antioxidante nos extratos via Compostos Fenólicos Totais.	55
Figura 4.7 - Etapas da metodologia experimental do processo de desidratação osmótica. ...	59
Figura 5.1 - Cromatograma dos produtos derivatizados dos padrões de carboidratos (1- solvente/hexano, 2-4: frutose, 5: padrão interno/metil-glucopiranosídeo; 6-7: glicose; 8: sacarose; 9-12: maltose; 13-14: isomaltose).....	73
Figura 5.2 - Curvas de calibração para os diferentes carboidratos avaliados. (A=área do pico; m=massa utilizada para obtenção de cada pico; subscritos c e i são referentes a cada carboidrato e ao padrão interno, respectivamente.	74
Figura 5.3 - Cromatograma de sacarose, frutose e glicose em melão orange flesh honeydew in natura (1 = hexano; 2-3 = frutose; 4 = padrão interno; 5-6 = glicose e 7 = sacarose).....	76

Figura 5.4 - Perfil dos mono e dissacarídeos presentes no xarope de milho (a) e na sacarose comercial (b) utilizados como agentes osmóticos.	82
Figura 5.5 - Curvas reológicas das soluções aquosas de xarope de milho (50% p/p) em diferentes temperaturas (25 a 45 °C) (a) e a 35 °C em diferentes concentrações (34 a 66% p/p) (b). τ = tensão de cisalhamento; γ = taxa de deformação.....	85
Figura 5.6 - Influência da temperatura e concentração sobre a viscosidade das soluções osmóticas de xarope de milho (a) e sacarose (b).* dados experimentais de SWINDELL et al. (1958).....	89
Figura 5.7 - Perdas de água (PA, % p/p) e ganhos de sólidos (GS, % p/p) obtidos experimentalmente em soluções de sacarose e xarope de milho em diversas condições de concentração e temperatura da solução. Cada ponto foi obtido numa mesma atividade de água e tempo de processo.	91
Figura 5.8 - Cinéticas de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) obtidos experimentalmente em diferentes concentrações de sacarose (S) e xarope de milho (XM) a 28 °C.	93
Figura 5.9 - Cinéticas de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) obtidos experimentalmente em diferentes concentrações de sacarose (S) e xarope de milho (XM) a 35 °C.	94
Figura 5.10 - Cinéticas de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) obtidos experimentalmente em diferentes concentrações de sacarose (S) e xarope de milho (XM) a 42 °C.	95
Figura 5.11 - Cinéticas de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) obtidos experimentalmente em diferentes temperaturas e a 43,2% (p/p) de sacarose (S) e 50% (p/p) de xarope de milho (XM).	97
Figura 5.12 - Modelo de Peleg e dados experimentais da Cinética de PA (cor preta) e GS (cor cinza) nas condições S5(■), S6(●) e S7(▲) (43,2% p/p e 35 °C) em soluções de	

sacarose (as setas e círculos destacam os instantes em que houve diferença estatística significativa entre as triplicatas).	106
Figura 5.13 - Modelo de Peleg e dados experimentais da Cinética de PA (cor preta) e GS (cor cinza) nas condições X5(■), X6(●) e X7(▲) (50% p/p e 35 °C) em soluções de xarope de milho (as setas e círculos destacam os instantes em que houve diferença estatística significativa entre as triplicatas).	106
Figura 5.14 - Capacidade de ajuste do modelo de Peleg aos valores de perda de água (a) e ganho de sólidos (b) no equilíbrio, em soluções de sacarose (■) e xarope de milho (▲)..	116
Figura 5.15 - Taxas de perda de água em soluções de sacarose e de xarope de milho (X1: 38,7% p/p e 27,9 °C; X4: 61,3% p/p e 42,1 °C; S1: 33,3% p/p e 27,9 °C; S4: 53,1% p/p e 42,1 °C).....	117
Figura 5.16 - Taxas de perda de água em soluções de sacarose e de xarope de milho no início (30 a 360 minutos de desidratação osmótica (X1: 38,7% p/p e 27,9 °C; X4: 61,3% p/p e 42,1 °C; S1: 33,3% p/p e 27,9 °C; S4: 53,1% p/p e 42,1 °C).....	117
Figura 5.17 - Influência da temperatura e concentração das soluções de sacarose sobre o parâmetro cinético $1/K_2$ para a perda de água (a) e para o ganho de sólidos (b), PA_∞ e GS_∞ , respectivamente.	125
Figura 5.18 - Influência da temperatura e concentração das soluções de xarope de milho sobre o parâmetro cinético $1/K_2$ para a perda de água (PA_∞).....	128
Figura 5.19 - Influência da temperatura e concentração das soluções de sacarose sobre a taxa inicial de desidratação ($1/K_{1,w}$).	132
Figura 5.20 - Influência da temperatura e concentração das soluções de xarope de milho sobre a taxa inicial de desidratação ($1/K_{1,w}$) e de impregnação($1/K_{1,s}$), (a) e (b), respectivamente.	134
Figura 5.21 - Influência da temperatura e concentração das soluções de sacarose sobre o tempo de meia vida da taxa de desidratação.....	137

Figura 5.22 - Influência da temperatura e concentração das soluções de xarope de milho sobre o tempo de meia vida da taxa de desidratação.	139
Figura 5.23 - Influência da temperatura e concentração das soluções de sacarose sobre a perda de água (a) e o ganho de sólidos (b) calculados no tempo de meia vida.	144
Figura 5.24 - Influência da temperatura e concentração das soluções de xarope de milho sobre a perda de água calculada no tempo de meia vida.	145
Figura 5.25 - Perda de água, ganho de sólidos e atividade de água nos diferentes tempos de n-redução da taxa de desidratação.	148
Figura 5.26 - Cinética da variação da composição de carboidratos (obtidos por CG-FID) e da doçura relativa (ADR) das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose (a) e de xarope de milho (b), utilizando os tempos de n-redução da taxa de desidratação.	150
Figura 5.27 - Efeito do processo sobre o teor de compostos fenólicos totais (TPC) das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de n-redução da taxa de desidratação.	157
Figura 5.28 - Efeito do processo sobre o poder redutor do ferro II (FRAP) das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de n-redução da taxa de desidratação.	158
Figura 5.29 - Efeito do processo sobre a capacidade de seqüestro do radical livre orgânico a base de nitrogênio (DPPH) das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de n-redução da taxa de desidratação.	159
Figura 5.30 – Ensaio de compressão uniaxial das amostras in natura e desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de n-redução da taxa de desidratação.	163

Figura 5.31 - Tensão (σ_R) e deformação (ϵ_R) na ruptura normalizadas, em relação às amostras in natura, das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de n-redução da taxa de desidratação. 165

Figura 5.32 - Dureza (W) e módulo de elasticidade (E_d) normalizadas, em relação às amostras in natura, das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de n-redução da taxa de desidratação. 166

Figura 5.33 - Micrografia do tecido parenquimático de melão orange-fleshed in natura. 170

Figura 5.34 - Micrografia do tecido parenquimático de melão orange-fleshed honeydew desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho nos diferentes tempos de n-redução da taxa de desidratação..... 172

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Composição centesimal e teor de fitoquímicos de diferentes variedades de melão.	13
Tabela 4.1 - Condições experimentais de temperatura e concentração das soluções de sacarose e xarope de milho durante a desidratação osmótica de melão orange flesh honeydew, de acordo com o delineamento fatorial completo.	41
Tabela 5.1 - Propriedades físicas e químicas de melão orange flesh honeydew.	68
Tabela 5.2 - Linearidade e precisão das curvas de calibração dos açúcares obtidas experimentalmente via cromatografia gasosa.	75
Tabela 5.3 - Capacidade antioxidante (DPPH, FRAP) e teor de compostos fenólicos totais (TPC) dos extratos das amostras de melão orange flesh honeydew.	77
Tabela 5.4 - Atividade de água (a_w) e viscosidade (μ) das soluções de sacarose e xarope de milho empregadas na desidratação osmótica de melões orange flesh honeydew.	83
Tabela 5.5 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para a atividade de água (a_w) e viscosidade (μ) em função da temperatura (T) e concentração (C) das soluções osmóticas de sacarose e de xarope de milho.	88
Tabela 5.6 - Comparação entre as médias de perda de água (PA) e de ganho de sólidos (GS) obtidas experimentalmente durante a desidratação osmótica em solução de sacarose nas condições estabelecidas no ponto central (S5, S6 e S7).	99
Tabela 5.7 - Comparação entre as médias de perda de água (PA) e de ganho de sólidos (GS) obtidas experimentalmente durante a desidratação osmótica em solução de xarope de milho nas condições estabelecidas no ponto central (X5, X6 e X7).	100
Tabela 5.8 - Valores dos parâmetros do modelo de Peleg ($K_{1,w}$ e $K_{2,w}$), dos coeficientes de determinação (R^2) e dos desvios relativos médios (P) para a perda de água, obtidos a partir dos dados experimentais da desidratação osmótica de melão orange em soluções de sacarose e xarope de milho.	103

Tabela 5.9 - Valores dos parâmetros do modelo de Peleg ($K_{1,s}$ e $K_{2,s}$), dos coeficientes de determinação (R^2) e dos desvios relativos médios (P) para o ganho de sólidos, obtidos a partir dos dados experimentais da desidratação osmótica de melão orange em soluções de sacarose e xarope de milho.	104
Tabela 5.10 - Parâmetros do modelo difusional obtidos a partir dos dados experimentais de perda de água (PA) e de ganho de sólidos (GS) durante a desidratação osmótica de melão orange em soluções de sacarose e de xarope de milho.	108
Tabela 5.11 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de meia vida proposto para a perda de água (PA) obtidos utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão orange em soluções de sacarose.	112
Tabela 5.12 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de meia vida proposto para o ganho de sólidos (GS) obtidos utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão orange em soluções de sacarose.	113
Tabela 5.13 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de meia vida proposto para a perda de água (PA) obtidos utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão orange em soluções de xarope de milho.	114
Tabela 5.14 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de meia vida para o ganho de sólidos (GS) obtidos utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão orange em soluções de xarope de milho.	115
Tabela 5.15 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de n-ésima redução da taxa proposto para a perda de água (PA) obtidos, utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão orange em soluções de sacarose.	120
Tabela 5.16 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de n-ésima redução da taxa proposto para a perda de água (PA) obtidos, utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão orange em soluções de xarope de milho.	121

Tabela 5.17 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de perda de água (PA_{∞}) e ganho de sólidos (GS_{∞}) no equilíbrio durante a desidratação osmótica de melão orange em soluções de sacarose.....	123
Tabela 5.18 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de perda de água (PA_{∞}) e ganho de sólidos (GS_{∞}) no equilíbrio durante a desidratação osmótica de melão orange em soluções de xarope de milho.	127
Tabela 5.19 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores das taxas iniciais de perda de água ($dPA/dt_{t=0}$) e ganho de sólidos ($dGS/dt_{t=0}$) preditos pelo modelo durante a desidratação osmótica de melão orange em soluções de sacarose.	130
Tabela 5.20 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores das taxas iniciais de perda de água ($dPA/dt_{t=0}$) e de ganho de sólidos ($dGS/dt_{t=0}$) preditos pelo modelo durante a desidratação osmótica de melão orange em soluções de xarope de milho.....	131
Tabela 5.21 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de tempo de meia vida ($t_{1/2}$) obtidos pelo modelo durante a desidratação osmótica de melão orange em soluções de sacarose.	136
Tabela 5.22 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de tempo de meia vida ($t_{1/2}$) obtidos pelo modelo durante a desidratação osmótica de melão orange em soluções de xarope de milho.	138
Tabela 5.23 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de perda de água ($PA(t_{1/2})$) e de ganho de sólidos ($GS(t_{1/2})$) calculados no tempo de meia vida, segundo o modelo proposto durante a desidratação osmótica de melão orange em soluções de sacarose.	142
Tabela 5.24 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de perda de água ($PA(t_{1/2})$) e de ganho de sólidos ($GS(t_{1/2})$) calculados no tempo de meia vida, segundo o modelo proposto durante a desidratação osmótica de melão orange em soluções de xarope de milho.....	143

Tabela 5.25 - Análise instrumental de cor (CIELab) das amostras de melão orange desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose (S) e xarope de milho (X), nos tempos de n-redução da taxa de desidratação ($t_{1/n}$).....	153
Tabela 5.26 - Resultado do croma (C^*), ângulo hue (H^*), variação global da cor (ΔE) e teor de carotenoides totais (CT) das amostras de melão orange desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose (S) e xarope de milho (X), nos tempos de n-redução das taxas de desidratação ($t_{1/n}$).....	154

Lista de símbolos e abreviaturas

<i>AAE</i>	Ácido ascórbico equivalente	$\mu\text{M.kg}^{-1}$
<i>ADR</i>	Avaliação da doçura relativa	mg.g^{-1}
<i>BS</i>	Base seca	
<i>BU</i>	Base úmida	
<i>CG-FID</i>	Cromatografia gasosa com detector de ionização de chama	
\bar{D}	Difusividade calculada pelo modelo de Peleg	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$
D_{ef}	Difusividade efetiva	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$
<i>DE</i>	Dextrose equivalente	
<i>DO</i>	Desidratação osmótica	
<i>DPPH</i>	<i>Diphenylpicrylhydrazyl</i> , Difenilpicrilidrazil	
E_d	Módulo de elasticidade	Pa.Pa^{-1}
<i>FOS</i>	Fruto-oligossacarídeos	
<i>FRAP</i>	<i>Ferric ion reducing antioxidant power</i> , Poder Antioxidante de redução do íon férrico	
<i>GAE</i>	<i>Galic acid equivalent</i> , Ácido gálico equivalente	$\mu\text{M.kg}^{-1}$
<i>GS</i>	Ganho de sólidos	$\text{g}/100\text{g}$
GS_∞	Ganho de sólidos no equilíbrio	$\text{g}/100\text{g}$

HMDS	Hexametildisilazano	
K	Índice de consistência do fluido	Pa.s
$k_{1,w}$	Parâmetro de PELEG relativo à taxa inicial do processo de sorção	s.kg ⁻¹
$k_{1,s}$	Parâmetro de PELEG relativo à taxa inicial do processo de dessorção	s.kg ⁻¹
$K_{1,w}$	Recíproco do valor inicial da taxa de desidratação	s.100g/g
$K_{1,s}$	Recíproco do valor inicial da taxa de impregnação	s.100g/g
$k_{2,w}$	Parâmetro de PELEG relativo à massa sorvida	kg
$k_{2,s}$	Parâmetro de PELEG relativo à massa dessorvida no equilíbrio	kg
$K_{2,w}$	Recíproco do valor de perda de água no equilíbrio	100g/g
$K_{2,s}$	Recíproco do valor de ganho de sólidos no equilíbrio	100g/g
PA	Perda de água	g/100g
PA _∞	Perda de água no equilíbrio	g/100g
$t_{1/n}$	Tempo de n-redução da taxa de desidratação/impregnação	min
TC	Teor de carotenoides totais	μg.g ⁻¹
TE	Trolox® equivalente	μM.kg ⁻¹
TMCS	Trimetilclorosilano	
TMS	Trimetilsilanos	
TPC	<i>Total phenolics content</i> , conteúdo de composto fenólicos totais	

W	Dureza	$\text{J.m}^3.\text{J}^{-1}.\text{m}^{-3}$
\mathcal{E}_R	Deformação de Hencky	m.m^{-1}
$\overset{*}{\gamma}$	taxa de deformação	s^{-1}
σ_R	Tensão na ruptura normalizada	Pa.Pa^{-1}

1 INTRODUÇÃO

O consumo de frutas representa um importante componente numa dieta saudável. Diversos estudos têm demonstrado uma relação direta entre a ingestão de frutas e uma menor incidência de diversas doenças, principalmente as cardiovasculares e certos tipos de câncer. Esses efeitos estão relacionados a diversos compostos antioxidantes encontrados nesses alimentos. Entretanto, devido às intensas modificações bioquímicas e microbiológicas que esses produtos experimentam durante o período de sua comercialização, esforços têm sido empreendidos, em todo o mundo, buscando processos que lhes assegurem uma maior vida de prateleira, sem contudo reduzir a concentração e a atividade desses fitoquímicos sobre a saúde humana (CHONG et al., 2013; DEVIC et al., 2010; HEREDIA et al., 2012; SAGAR; SURESH KUMAR, 2010; SOGI; SIDDIQ; DOLAN, 2014).

O extenso território brasileiro é caracterizado por variadas condições climáticas e por distintos tipos de solos, apresentando uma produção agrícola bastante diversificada, o que confere ao país o título de principal produtor mundial em diversos mercados. No mercado global de frutas, o Brasil detém uma posição de destaque, apesar de apenas 5% da área total cultivada ser destinada à fruticultura. De 2008 a 2013, a produção brasileira experimentou um ligeiro aumento de 43 a 43,6 milhões de toneladas, das quais cerca de 53% foram destinadas ao mercado de frutas frescas (CARVALHO; THOMÉ; LEITÃO, 2014; IBRAF, 2008, 2010; OLHAR DIRETO, 2014).

O melão (*Cucumis melo* L.) é uma das olerícolas mais populares do mundo. No ano de 1997 ocupava uma área de um milhão de hectares, com produção de 18 milhões de toneladas e, em 2011 sua produção já atingia a marca de 27,3 milhões de toneladas (APEX-Brasil, 2014; COSTA et al., 2001) e em 2008 já ocupava o segundo lugar das exportações de fruta no Brasil, com um volume de 153 mil toneladas, além de ser a fruta mais demandada pelo mercado mundial, com aproximadamente 225 mil toneladas por ano (IBRAF, 2008; MULLER et al., 2013; SIDRA, 2009).

Dentre as variedades de melão, destaca-se o melão tipo *honeydew orange flesh*, um híbrido entre os tipos cantaloupe (*Cucumis melo* var. *Cantalupensis* Naud) e inodorus (*Cucumis melo* var. *inodurus* Naud), que apresenta as características internas (coloração da polpa) do primeiro e externas (superfície lisa da casca) do segundo tipo. Este melão apresenta uma boa aceitação nos mercados interno e externo, devido a sua aparência, aroma diferenciado, suculência e presença de carotenoides na polpa. Contudo, a sua rápida deterioração pós-colheita dificulta a comercialização, restando aos produtores o uso de técnicas para aumentar sua vida útil e, dentre as de maior utilização, tem-se a refrigeração. Entretanto, em função dos altos custos e problemas causados na cadeia do frio, como a formação de cristais, que causa: danos à textura, perdas de aroma e cor, esta técnica reduz significativamente a rentabilidade do negócio quando é utilizada (FLESHMAN et al., 2011; GRANGEIRO et al., 1999; MENEZES et al., 1998; MILLA, 1995; TODAFRUTA, 2007; ZHAO et al., 2014).

As frutas são extremamente perecíveis devido, principalmente, ao seu elevado teor de umidade, que propicia o desenvolvimento de microrganismos e reações enzimáticas indesejáveis. Assim, a desidratação desempenha um papel fundamental na indústria de alimentos, podendo assegurar o acesso da população em geral a esses produtos em condições seguras e estáveis, dependendo da umidade atingida no processo. Contribuindo na redução da enorme perda de alimentos em função de sua elevada deterioração.

A demanda pelo uso de tecnologias capazes de minimizar tais perdas, conservando esses produtos por um tempo maior e mantendo suas características naturais tem aumentado bastante nos últimos anos, não sendo restrita apenas aos produtos finais, mas também aos ingredientes utilizados em alimentos mais elaborados, como sorvetes, cereais matinais, produtos de padaria, confeitaria, iogurtes, ou na obtenção de suplementos alimentares (DEVIC et al., 2010; MUNDADA; HATHAN; MASKE, 2011; PEREIRA, 2006; ROMERO-DE SOTO et al., 2013; SOGI; SIDDIQ; DOLAN, 2014; TORREGGIANI; BERTOLO, 2001).

Apesar de todo tipo de processamento ocasionar alterações indesejáveis em

diversas propriedades dos alimentos processados, o processo de desidratação osmótica (DO), por se caracterizar pelo uso de temperaturas intermediárias (abaixo de 50 °C) e livre de oxigênio, é menos danoso ao alimento e não necessita da adição de inibidores enzimáticos durante o mesmo (PONTING, 1973).

Embora este processo não reduza a atividade de água como a secagem, a possibilidade de sua utilização em conjunto com outras barreiras ao crescimento microbiano, como o uso de antioxidantes, tratamentos térmicos brandos, embalagens especiais com atmosfera modificada e refrigeração, pode fornecer produtos estáveis com características similares ao produto fresco (BELLARY; SOWBHAGYA; RASTOGI, 2011; HEREDIA et al., 2012; MUGURUMA et al., 1987; PEREIRA et al., 2007; RAOULT-WACK, 1994; SOGI; SIDDIQ; DOLAN, 2014; VIAL; GUILBERT; CUQ, 1991).

Existem inúmeros modelos que descrevem a cinética deste processo, alguns com base fenomenológica, mas a maioria é composta por modelos empíricos, cuja vantagem reside no melhor ajuste aos dados experimentais. Contudo, seus parâmetros, na maioria das vezes, carecem de identificação física com o processo, ao contrário do primeiro tipo de modelo. Somado a isto, em ambos os modelos, o critério para a determinação do tempo de processamento permanece indefinido e sujeito a muitos fatores como o tipo de alimento ou solução utilizados, ou ainda em função da qualidade do produto obtido, o que, muitas vezes, inviabiliza a comparação sobre o impacto na estrutura e no conteúdo de nutrientes dos diferentes alimentos submetidos a este processo.

Na maioria esmagadora dos trabalhos sobre a DO, o acompanhamento do processo se dá em termos de perda de água e do ganho de sólidos global. Contudo, em soluções contendo uma mistura complexa de carboidratos, há uma grande variação nas taxas de penetração desses diferentes açúcares durante o processo e são poucos os trabalhos que medem de forma individualizada esses fluxos de massa.

Por fim, apesar do processo ter sido alvo de vários estudos nos últimos anos, há uma grande carência de pesquisas avaliando o impacto na capacidade antioxidante natural de frutas submetidas à desidratação osmótica e nenhum trabalho versando sobre esse aspecto

em melões osmoticamente desidratados encontra-se disponível.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral deste trabalho foi estudar o processo de desidratação osmótica de melão tipo *orange flesh honeydew*, em soluções de sacarose e de xarope de milho, de modo a obter um produto com características similares à fruta *in natura*.

2.2 *Objetivos específicos*

- ✓ Avaliar o efeito da concentração dos diferentes solutos e da temperatura sobre a viscosidade e a atividade de água das soluções osmóticas empregadas;
- ✓ Estudar e modelar as cinéticas do processo de desidratação osmótica em soluções de sacarose e de xarope de milho, buscando o agente desidratante de melhor desempenho;
- ✓ Propor um parâmetro para a determinação do tempo de processo, de modo a permitir uma melhor comparação dos efeitos das condições de processo sobre os produtos desidratados osmoticamente;
- ✓ Estudar a transferência de massa individual de cada açúcar (frutose, glicose, sacarose, maltose e isomaltose), utilizando a técnica de cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (CG/FID) na identificação/quantificação desses carboidratos nos melões desidratados osmoticamente;
- ✓ Avaliar o impacto do processo de desidratação osmótica no teor de carotenoides, compostos fenólicos, na capacidade antioxidante e nos parâmetros instrumentais de cor dos produtos processados;
- ✓ Avaliar o efeito do tipo de soluto e do tempo de processamento sobre as propriedades estruturais (propriedades de textura e microscopia ótica) dos produtos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Melão (Cucumis melo)*

3.1.1 Origens e mercado

Pertencente à família *Cucurbitacea*, o melão (*Cucumis melo* L.) tem origem controversa, sendo a mais aceita aquela que se atribui à África ocidental e de lá até os vales quentes do Irã e do Iraque (Regiões da Antiga Pérsia). Contudo é também atribuída ao noroeste da Índia, onde se concentra a maior variedade encontrada, ao Afeganistão ou ainda à Armênia (FILGUEIRA, 2003; TODAFRUTA, 2007).

Seu cultivo está registrado desde 2500 aC, por pinturas egípcias. Foi um dos alimentos consumidos pelo povo judaico na travessia do deserto, liderados por Moisés, conforme livro de Números do Velho Testamento (NÚMEROS 11:4-6). O consumo dessa fruta tem sido documentado nas poesias gregas, que exaltam seu sabor e aroma; nas lendárias viagens de Marco Polo ao Oriente e na tomada da Península Ibérica pelos Turco-Otomanos, em cuja ocasião o mesmo fora introduzido na Europa e, por fim, até a sua introdução no Novo Mundo por Colombo, durante a segunda viagem (TODAFRUTA, 2007).

No Brasil, difundiu-se principalmente na década de 60 em pequenas roças de São Paulo e do Rio Grande do Sul, cujo consumo era destinado aos próprios agricultores locais, enquanto o mercado brasileiro era abastecido principalmente por Chile e Espanha. Nas últimas décadas, sua produção tem se concentrado no Nordeste brasileiro devido às condições edafoclimáticas desta região (ARAÚJO; GUERRA; DURIGAN, 1999; TODAFRUTA, 2007).

É uma das olerícolas mais populares do mundo. Em 2008, foi a segunda fruta mais exportada pelo Brasil, com um volume de 153 mil toneladas e, em 2012, atingiu a marca de 183 mil toneladas exportadas. É também a fruta mais demandada pelo mercado mundial com

aproximadamente 225 mil toneladas por ano (FERNANDES, 2006; SEBRAE, 2014; SIDRA, 2009). Em 2006, os diversos tipos de melões comercializados nos EUA superaram a banana como a fruta mais consumida, na forma *in natura*, naquele país (USDA, 2006).

No início da década de 2000, a China detinha um terço da produção mundial, enquanto que o Brasil, embora responsável pela terceira maior produção da América do Sul, era apenas o 22º produtor mundial desta fruta (MI/SIH/DDH, 2003). Mesmo com essa tímida produção, o país, que já ocupava o sexto lugar como o maior exportador da fruta, dobrou a sua receita com a exportação ainda na segunda metade da mesma década, apesar da quebra da produção no Rio Grande do Norte, verificada na safra de 2009 (IBRAF, 2001; NETCOMEX, 2011).

No período compreendido entre os anos 1980 e 1996, a área cultivada com melão apresentou um crescimento de mais de 100%, enquanto que o aumento na produção foi de 260%. No ano de 1996, a área plantada no país foi de 12.200 hectares e a produção chegou a 244.000 toneladas, com rendimento médio de 20 ton/ha. O Nordeste, que detinha no período mais de 90% da produção nacional, tem mantido sua produtividade praticamente constante nas últimas décadas, de 22 ton/ha em meados da década de 1990 (DIAS et al., 1998), até o valor de 25,37 ton/ha verificado em 2010 (IBGE, 2011; SIDRA, 2009).

Apesar de apresentar alguns fatores adversos à agricultura em geral, o destaque daquela região na cultura do melão deveu-se ao desenvolvimento e à aplicação da agricultura irrigada nas últimas décadas (MENDONÇA et al., 2004; SEAGRI, 2003). O Estado do Rio Grande do Norte é tido como o maior produtor e exportador da fruta e a Chapada do Apodi, localizada entre os rios Açu (RN) e Jaguaribe (CE), é responsável por cerca de 90% da produção nacional, que vem gradativamente aumentando. Em 2010, a produção nacional atingiu o valor de 478 mil toneladas, cerca de 19% superior em relação ao ano anterior (BRASIL, 2003; IBGE, 2006; 2011).

Esta expansão na produção se deve às pesquisas científicas, às melhorias nas condições de cultivo e à abertura de comércio. As pesquisas são desenvolvidas no sentido de promover a melhoria de cultivo, visando o aumento da produtividade e à conservação da

qualidade pós-colheita das frutas. Parte dessa produção é exportada para a Espanha, Holanda, Inglaterra e Finlândia (AGRIANUAL, 2001; MENDONÇA et al., 2004; MORAIS et al., 2009; MULLER et al., 2013).

Na Figura 3.1, são mostrados os históricos das quantidades comercializadas (a) e das receitas obtidas (b) para as três frutas frescas mais exportadas na última década (IBRAF, 2001, 2008). Verifica-se que, desde o final da década de 1990, o melão foi a fruta *in natura* mais exportada em volume, embora não tenha sido a que mais gerou divisas para o país neste mesmo período.

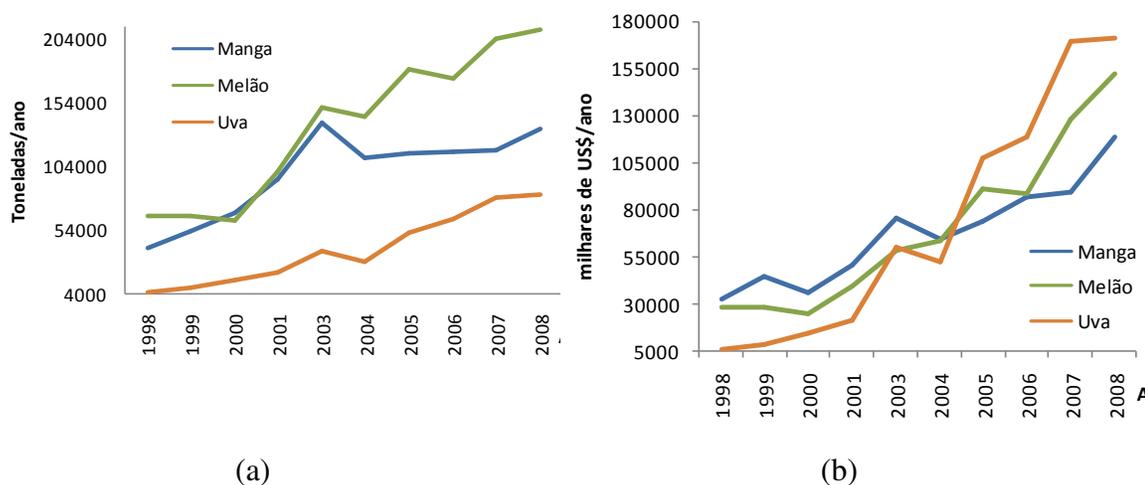


Figura 3.1 - Comparativo das exportações brasileiras de frutas frescas no período de 1998 a 2008. (Fonte: IBRAF, 2001, 2008)

Apesar desta tendência de crescimento das exportações do fruto *in natura* verificada no período, houve um crescimento ainda maior, de cerca de 800%, nas importações de produtos processados de cucurbitáceas, incluindo cascas desidratadas de melão (IBRAF, 2008). Esse fato ilustra a demanda por processos que agreguem valor à cadeia do melão.

3.1.2 Variedades

O melão é uma espécie polimórfica, cujas formas botânicas diferenciam-se quanto aos aspectos de sensibilidade ao frio, capacidade de conservação, atividade metabólica e, sobretudo, em forma, tamanho de fruto e estrutura da casca e da polpa. A grande variação genética desta espécie pode ser verificada ainda na ampla gama de coloração da polpa de seus frutos, que vai do laranja ao verde, passando pelo branco e o amarelo (ARTÉS et al., 1993; NUÑEZ-PALENIUS et al., 2008).

Há dois grupos principais de melões cultivados com características distintas. O grupo *inodorus* não possui aroma acentuado, no qual se destacam os melões Pele de Sapo e Amarelo; e o tipo *cantalupensis*, que, ao contrário do *inodorus*, é aromático de coloração geralmente salmão ou alaranjada. Enquanto estes são os preferidos pelo mercado externo, os do primeiro grupo são os mais apreciados pelo mercado brasileiro (SILVA, 2002). Podem ainda ser classificados como rendilhados (*Cucumis melo* var. *reticulatus*) em função da presença de ondulações na superfície da casca (NUÑEZ-PALENIUS et al., 2008).

Na Figura 3.2, são apresentados os principais tipos de melão comercializados no Brasil. Os melões Cantaloupe, Gália e Charentais são os mais conhecidos entre o tipo aromático, enquanto que os melões amarelo, pele de sapo e *honeydew* são os do tipo *inodorus* mais comercializadas e resistentes ao transporte, devido à espessura e firmeza da casca, que lhe confere resistência à compressão (FILGUEIRA, 2003).

Aproximadamente 98% dos melões produzidos no Brasil pertencem ao grupo não aromático, do qual fazem parte diversas cultivares e híbridos. O restante pertence às variedades *cantaloupensis* e *reticulatus*, que apesar de possuírem alto valor comercial, principalmente no mercado externo, têm cultivo ainda muito restrito devido à sua limitada resistência ao transporte e reduzida conservação pós-colheita (MENEZES et al., 1998; GRANGEIRO et al., 1999).

Os do grupo *cantaloupensis* possuem formato esférico, polpa aromática de

coloração salmão-alaranjada e peso médio variando de 700 a 1.200 g (NICOLAS et al., 1989; TORRES, 1997). São frutos climatéricos e não acumulam amido como a maioria das outras frutas, assim necessitam do mecanismo de translocação dos compostos fotoassimilados nas folhas para os frutos, durante os processos de crescimento e amadurecimento (NUÑEZ-PALENIUS et al., 2008).

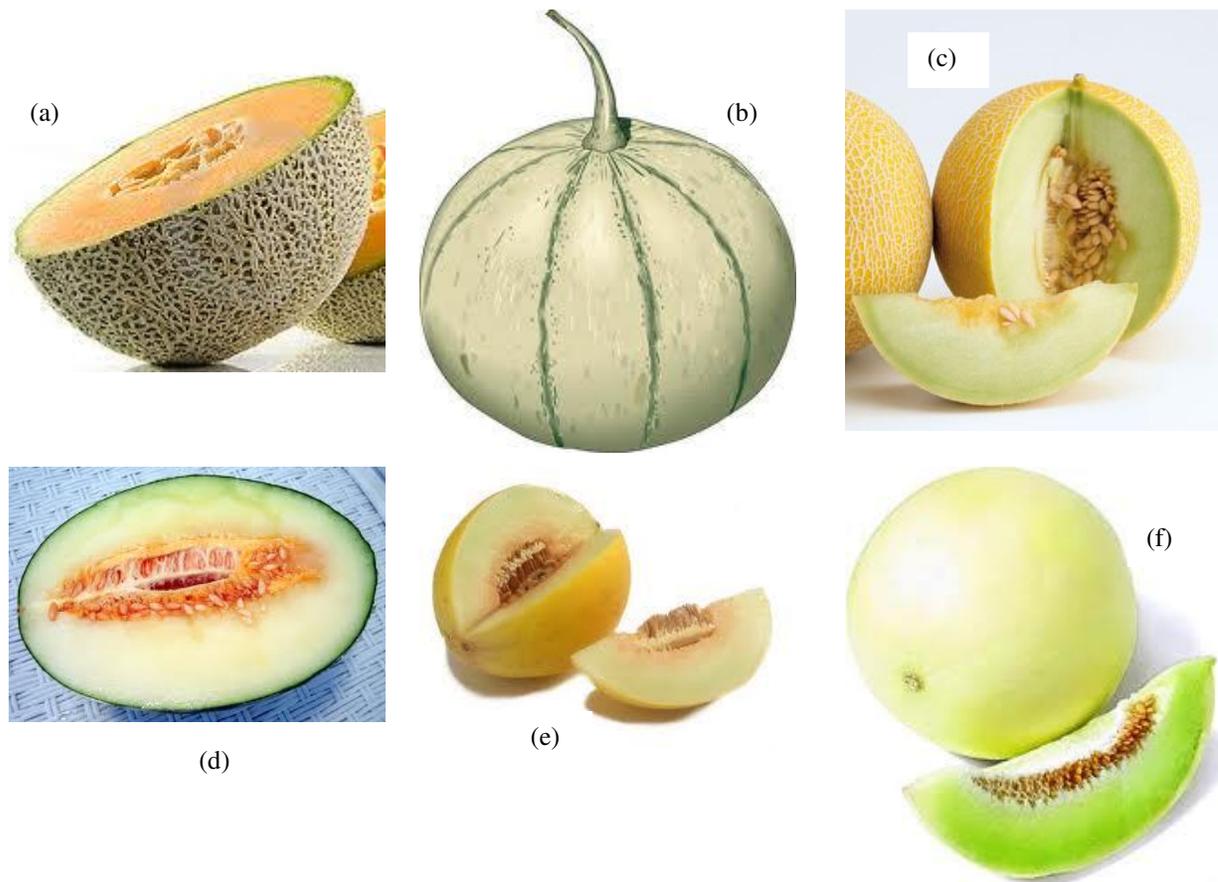


Figura 3.2 - Principais tipos de melão comercializados no Brasil

(a) Cantaloupe; (b) Gália; (c) charentais; (d) pele de sapo; (e) amarelo; (f) honeydew

Economicamente, as principais cultivares produzidas na região Nordeste são do tipo cantaloupe, que possuem alto valor nutritivo, quantidades expressivas de carotenoides, além de já serem comercializados no mercado externo a preços elevados, uma vez que

representam o principal grupo de melão consumido no Hemisfério Norte (MILLA, 1995; BURGER et al., 2006; LESTER, 2008).

Melões tipo charentais, por exemplo, apresentam vida útil pós-colheita relativamente curta, no máximo cinco dias a temperatura ambiente, e baixo conteúdo de açúcares, o que constituem características indesejáveis. Sua elevada taxa de respiração e senescência são os principais problemas encontrados durante sua vida útil pós-colheita, limitando a possibilidade de exportação a mercados mais distantes, como a União Européia, o que reduz sua lucratividade (BURGER et al., 2006; COHEN; HICKS, 1986; FLORES et al., 2007; MAYBERRY; HARTZ, 1992; MULLINS; STRAW, 1993).

Por sua vez, o consumo de melões rendilhados pode apresentar um risco à saúde em função da possibilidade de contaminação da superfície de sua casca, cuja sanitização nem sempre é bem sucedida em função da excessiva presença de reentrâncias na mesma (CASTILLO et al., 2004; DEL ROSARIO; BUCHAT, 1995).

O melão *orange-fleshed honeydew* (*Cucumis melo L. cv Honeydew*) (Figura 3.3) é um híbrido integrante do grupo *Inodorus*. Possui superfície externa lisa, o que diminui o risco de contaminação em relação aos melões rendilhados e *cantalupensis*, dos quais herda o formato esférico e a polpa aromática e alaranjada, rica em vitamina A, devido à presença de β -caroteno, além de possuir uma quantidade considerável de ácido ascórbico, ácido fólico, potássio, entre outros (LESTER; EISCHEN, 1996; LESTER, 1997; LESTER; CROSBY, 2002; LESTER; HODGES, 2008).

Na Tabela 3.1, é feita uma comparação entre a composição centesimal do melão amarelo e a do melão tipo *honeydew orange-fleshed*. Constata-se uma quantidade de carboidratos ligeiramente inferior no melão *orange* e pode ser destacada a grande quantidade de carotenoides presentes neste fruto, comparável à quantidade reportada por Lima, Mélo e Lima (2002) para acerola (reconhecidamente rica nessa vitamina), que variou de 14 a 40 mg de β -caroteno por kg de fruta em função da estação do ano. Contudo, cabe destacar a grande variação do conteúdo de carotenoides observada por diferentes autores, que pode ser atribuída aos efeitos geográficos sobre a biogênese dos carotenoides (RODRIGUEZ-

AMAYA, 2010).



Figura 3.3 - Melão tipo *honeydew orange flesh*.

Tabela 3.1 - Composição centesimal e teor de fitoquímicos de diferentes variedades de melão.

Componente	melão tipo <i>honeydew orange flesh</i> ^a	Melão amarelo ^b
Umidade (g/100 g polpa)	94,7	91,3
Proteína (g/100 g polpa)	0,67	0,7
Açúcares totais (g/100 g polpa)	7,65 ^c	7,5
Cinzas (g/100 g polpa)	0,5	0,5
Ácido ascórbico (mg/100 g)	12,2-22,4 ^c	9,7-28,0 ^d
β -caroteno (mg/100 g)	1,4-21,5 ^{c,e}	<1 ^e

Fonte: GARBELOTTI (2000)^a; TACO (2006)^b; Lester; Hodges (2008)^c e Lester (2008)^c; LAUR; TIAN (2011)^d; SAFTNER et al., 2006^e.

3.1.3 Capacidade antioxidante de frutas

Segundo El Gharras (2009), fitoquímicos podem ser definidos, de forma geral,

como compostos químicos produzidos pelas plantas, que possuem alguma relação com a saúde e que não sejam nutrientes essenciais ao organismo. São moléculas capazes de inativar a ação deletéria dos radicais livres, auxiliando no sistema de defesa dos organismos vivos contra espécies de oxigênio altamente reativas (DEVASAGAYAM et al., 2004; HALLIWELL, 1996; HAMINIUK et al., 2011; NOIPA et al., 2011).

Embora a maioria das frutas sejam compostas por 75 a 95% de água, vários outros compostos podem ser encontrados nesses alimentos. Podem-se destacar a frutose, glicose e sacarose, dentre outros carboidratos, além de outros nutrientes como sais minerais, vitaminas, compostos fenólicos, carotenoides, entre outros fitoquímicos, que podem conferir ao alimento capacidade antioxidante, retardando o envelhecimento, prevenindo a ocorrência de câncer e de doenças crônico-degenerativas causadas pelo estresse oxidativo mediado pelo processo natural de oxidação no interior celular (EL GHARRAS, 2009; HODGES et al., 2004; LESTER; HODGES, 2008).

A importância dos compostos antioxidantes não se restringe apenas à saúde humana; eles também exercem um papel crucial na inibição do estresse oxidativo associado ao processo de senescência das frutas e demais vegetais. Estudos epidemiológicos indicam que o consumo dos antioxidantes naturais de origem vegetal diminui o risco de ocorrência de doenças cardiovasculares e do câncer. Este efeito é encontrado em três maiores grupos de compostos presentes nos vegetais: vitaminas, fenólicos e carotenoides. Ácido ascórbico e fenólicos são conhecidos antioxidantes hidrofílicos, enquanto os carotenoides representam os antioxidantes lipofílicos mais importantes (HALLIWELL, 1996; LESTER; HODGES, 2008; THAIPONG et al., 2006).

O melão é considerado uma fonte significativa de polifenóis, particularmente flavonoides, que são conhecidos por regular a formação de óxido nítrico, protegendo o endotélio e reduzindo o risco de ataque cardíaco (LOPEZ et al., 2007; MAIETTI et al., 2012). Estes compostos compõem a principal classe de metabólitos secundários encontrados nos tecidos vegetais. Os três maiores grupos de fenólicos oriundos dos vegetais são os flavonoides, ácidos fenólicos e os taninos. Sua capacidade antioxidante é atribuída à sua

capacidade de quelar metais, inibir a ação da enzima lipoxigenase e capturar radicais livres (KENNY et al., 2013; NUÑEZ-MANCILLA et al., 2013; RODRIGUEZ-AMAYA, 2010; SHAHIDI; NACZK, 2004).

A oxidação do ácido ascórbico gera o radical ascorbila como composto intermediário, que é o responsável pela capacidade antioxidante da vitamina C (SHAFER; KELLEY; BUETTNER, 2003), que atua na fase aquosa como um excelente antioxidante sobre os radicais livres, mas não é capaz de agir nos compartimentos lipofílicos para inibir a peroxidação dos lipídeos (BIANCHI; ANTUNES, 1999).

Os carotenoides apresentam um extenso sistema de duplas ligações conjugadas presentes em suas moléculas, que conferem a capacidade de desativação do oxigênio singlete e interação com radicais livres, o que explica a sua capacidade antioxidante (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008).

Em função da reconhecida ação dos antioxidantes na prevenção de doenças, muitos alimentos têm sua capacidade antioxidante avaliada *in vitro*, por vezes correlacionada às concentrações das substâncias bioativas no alimento, de forma a predizer o seu efeito na saúde humana (RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA; AMAYA-FARFAN, 2008). Entretanto, é necessário enfatizar que esses métodos são limitados e não representam necessariamente similaridade com sistemas biológicos reais, embora sejam úteis na busca de correlações entre os níveis de estresse oxidativo e a concentração de cada fitoquímico que apresente capacidade antioxidante (HUANG; OU; PRIOR, 2005; RODRIGUEZ-AMAYA, 2010).

Desta forma, um grande número de métodos visando a determinação da capacidade antioxidante de alimentos têm sido desenvolvidos. Tais métodos podem ser baseados na captura do radical peroxila (ORAC, TRAP), do radical hidroxila (método de desoxirribose) e do radical orgânico (ABTS, DPPH), no poder de redução de um metal (FRAP, CUPRAC), na quantificação de produtos formados durante a peroxidação de lipídeos (TBARS, oxidação do LDL, co-oxidação do β -caroteno), entre outros (FRANKEL; MEYER, 2000; SÁNCHEZ-MORENO, 2002; THAIPOONG et al. 2006).

Estudos epidemiológicos mostram que o consumo de frutas e olerícolas, que possuem elevados teores de compostos fenólicos (TPC, do inglês *total phenolics content*), está diretamente relacionado com a redução de doenças crônicas degenerativas, em função da capacidade antioxidante deste grupo de compostos (antocianinas, ácidos fenólicos, taninos, flavonoides, etc) (BRAVO, 1998; RODRIGUEZ-AMAYA, 2010).

Entretanto, o ensaio proposto por Brand-Williams, Cuvilier e Berset (1995) para a determinação destes compostos não apresenta alta seletividade, avaliando também outras classes de compostos; como proteínas, açúcares redutores e outras substâncias capazes de reduzir o íon molibdato a sua forma metálica, em meio alcalino. Aliado a este fato, tem-se observado uma forte correlação entre o teor destas substâncias e a capacidade antioxidante dos alimentos medida *in vitro* (via DPPH, FRAP, ORAC, etc.), o que tem levado alguns autores a sugerirem a utilização do método de Folin-Ciocalteu como mais um ensaio antioxidante (BRAVO, 1998; CARILLON et al., 2012; EVERETTE et al., 2010; MARTÍN-SÁNCHEZ et al., 2014; RODRIGUEZ-AMAYA, 2010; ROMERO-DE SOTO et al., 2013).

Nos melões com polpa alaranjada, há a presença de carotenoides, compostos fenólicos e ácido ascórbico, o que confere ao fruto um poder antioxidante natural.

Lester (2008) analisou a variação dos compostos antioxidantes desde a casca até a cavidade interior dos frutos dessa mesma variedade e verificou que as concentrações de ácido ascórbico e β -caroteno, entre outros fitoquímicos, foram distintas nas diferentes porções do melão estudadas. Contudo, os autores verificaram também que no mesocarpo (polpa) do melão, esse fitoquímicos não apresentaram diferenças significativas de concentração em função da direção radial da fruta.

Lester e Hodges (2008) avaliaram a influência da época de plantio na capacidade antioxidante do melão *honeydew orange flesh* estocados por até 24 dias e concluíram que o mesmo apresentou elevada ação antioxidante em função da reduzida peroxidação lipídica durante o período de estocagem.

Neste cenário, o número reduzido de trabalhos abordando a capacidade

antioxidante de carotenoides, em função da falta de correlação entre a capacidade antioxidante medida *in vitro* e a concentração dos carotenoides nos alimentos deve-se, em grande parte, ao fato que os métodos de determinação da capacidade antioxidante são, em sua maioria, baseados nos mecanismos de seqüestro de radicais livres, conferindo aos compostos fenólicos e ao ácido ascórbico a maior contribuição na capacidade antioxidante de frutas (RODRIGUEZ-AMAYA, 2010).

3.1.4 Efeito do processamento sobre a estrutura de frutas

Para os alimentos, tanto na forma *in natura*, quanto processados, a textura é um atributo de qualidade crucial na determinação de sua qualidade e aceitabilidade pelos consumidores. Entretanto, a definição tradicional de textura não cobre todos os aspectos avaliados na indústria de alimentos, que a divide em duas principais categorias (BOURNE, 2002):

1) O termo textura é usado para um atributo específico de um determinado tipo de alimento. A definição de textura em sorvete, por exemplo, é feita em termos de sua maciez, mas isso não inclui outros atributos como a dureza ou sua mudança de estado físico (ponto de congelamento);

2) Usa-se o termo de forma geral para todos os alimentos, de modo a englobar um grupo multidimensional de propriedades de textura dos alimentos como sua dureza, elasticidade, coesividade, maciez, adesividade, etc.

Dentre os atributos envolvidos nas propriedades de textura dos alimentos, a firmeza é um dos mais importantes parâmetros na determinação do frescor em frutas e hortaliças. A crocância está diretamente relacionada à estrutura celular de cada alimento e em determinados produtos gelificados, a elasticidade, coesividade, aderência e gomosidade são propriedades importantes para a avaliação de sua propriedades de textura (AKWETEY; KNIPE; 2012; CHEN; OPARA, 2013; STEJSKAL et al., 2011).

Os atributos que medem a qualidade estrutural dos alimentos podem ser avaliados por análise sensorial descritiva ou por análises instrumentais. A combinação de tempo e custo elevados relacionados aos testes afetivos, tem motivado o desenvolvimento e utilização generalizada dos ensaios mecânicos empíricos e sua correlação com as percepções sensoriais das propriedades de textura dos alimentos (COSTA et al, 2011; CHEN; OPARA, 2013; KIM et al., 2012; WANG; ZHOU; ISABELLE, 2007).

Durante muitos anos, uma grande quantidade de testes instrumentais foi utilizada tanto por indústrias quanto por pesquisadores, de modo a se obter as propriedades de textura dos alimentos. Paralelamente, um grande esforço tem sido realizado na melhoria dos equipamentos e técnicas utilizados, de modo a se obter estimativas cada vez mais realistas das propriedades de textura dos alimentos (CHEN; OPARA, 2013; ORAGUZIE et al., 2009; ZDUNEK et al., 2011).

No nível macroscópico, as propriedades físicas dos alimentos são afetadas pelas interações existentes entre as moléculas de água e outros componentes presentes nesse complexo sistema, em que a água, além da função de solvente, possui função estruturante, uma vez que as interações hidrofílicas e hidrofóbicas que surgem com a sua presença dentro das células, fazem com que a mesma atue como um agente plasticizante, controlando o movimento entre os componentes presentes no mesmo (LEWICKI, 2004; NIETO et al., 2013).

No nível celular, as propriedades físicas dos alimentos estão relacionadas aos diferentes níveis e às interações existentes em sua estrutura. No caso dos alimentos de origem vegetal, as características reológicas de seus tecidos estão intimamente relacionadas ao turgor inicial, força e elasticidade das paredes e ao grau de adesão entre as células e alguns outros componentes localizados na parte externa das células (NIETO et al., 2013; WALDRON et al., 1997; WALDRON; PARKER; SMITH, 2003).

Conforme destacado anteriormente, a água é um componente vital na preservação e funcionalidade da estrutura dos tecidos vegetais. A sua remoção durante o processo de desidratação osmótica, por exemplo, gera uma alteração na relação entre os demais

constituintes da célula e a água remanescente, modificando irreversivelmente a composição e conformação espacial celular, o que induz a um desarranjo e destruição de sua estrutura, levando ao encolhimento e mudança na mobilidade da água no produto, o que leva em última instância a alterações irreversíveis em suas propriedades mecânicas (NIETO et al., 2013).

3.2 Desidratação osmótica

A redução parcial da umidade de um alimento inteiro ou fatiado em contato com uma solução hipertônica de açúcares e sais é denominada desidratação osmótica. Este processo foi alvo de exaustivos estudos em várias partes do mundo (AZOUBEL; MURR, 2003; FERRARI et al., 2005; KHOYI; HESARI, 2007; MAURO; TAVARES; MENEGALLI, 2002; NIETO et al., 2013; PONTING et al., 1966; RAOULT-WACK, 1994; SCHMIDT; CARCIOFI; LAURINDO, 2009) e consiste na transferência de massa simultânea de água do alimento para a solução e de solutos da solução para o alimento. Além desses fluxos, há um terceiro formado por substâncias hidrossolúveis como ácidos, açúcares, sais minerais, vitaminas, entre outras, que, embora seja quantitativamente desprezível, pode alterar significativamente as características sensoriais, nutricionais e funcionais dos alimentos (LENART; FLINK, 1984a; RAOULT-WACK, 1994; NIETO et al., 2013).

O ganho de sólidos pelo alimento modifica sua composição, podendo ser desejável ou não para o produto final (PONTING, 1973; RAOULT-WACK, 1994). A incorporação de sólidos, como a sacarose, favorece uma maior retenção de compostos voláteis, da cor e de vitaminas nestes produtos (TORREGIANI; BERTOLO, 2001). Entretanto uma elevada penetração de solutos pode levar a uma modificação indesejada no seu sabor (LENART; FLINK, 1984b).

Contudo, a possibilidade de incorporação de aditivos de interesse sensorial e/ou nutricional, permitida pelo tratamento osmótico, pode resultar em produtos de alta qualidade (BELLARY; SOWBHAGYA; RASTOGI, 2011; HEREDIA et al., 2012; PEREIRA, 2006).

A qualidade dos produtos osmoticamente desidratados é uma questão crucial, que obrigatoriamente deve ser levada em conta e, desta forma, é fundamental que as propriedades físicas e químicas dos alimentos processados sejam devidamente avaliadas ao longo do processo (NIETO et al., 2013)

Durante a desidratação osmótica, paralelamente à perda de água ocorre a entrada em contracorrente de solutos da solução hipertônica para a célula. A seleção do soluto utilizado e sua concentração são fatores decisivos na extensão desses fluxos, que estão relacionados à atividade de água e à viscosidade da solução. Solutos contendo proteínas e/ou polissacarídeos podem alterar significativamente a conformação espacial de célula em função da interação com os demais carboidratos presentes (LEWICKI, 2004; NIETO et al., 2013).

A influência do tipo de soluto sobre a transferência de massa que ocorre durante a desidratação osmótica, tem sido extensivamente avaliada. Entretanto, seu efeito na estrutura e nas propriedades físicas dos alimentos submetidos ao processo ainda não está totalmente elucidado. Portanto, compreender e modelar o impacto dos diferentes solutos utilizados sobre as propriedades físicas das frutas submetidas à desidratação osmótica é essencial para a obtenção de produtos processados de alta qualidade (FERRANDO; SPIESS, 2001; NIETO et al., 2013).

Rózek et al. (2009), visando estudar a transferência de massa de compostos fenólicos em um modelo de alimento em gel, utilizaram suco de uva como solução desidratante e obtiveram uma grande incorporação de ácidos fenólicos após o processo, o que aumentou significativamente a capacidade antioxidante dos produtos processados.

Jacob e Paliyath (2012) investigaram os benefícios da substituição da sacarose por fruto-oligossacarídeos (FOS) como agente desidratante em cereja, manga e mirtilo. Os autores verificaram uma redução na perda de antocianinas e outros importantes fitoquímicos. Uma explicação a esta observação é o menor ganho de sólidos verificado quando se utiliza FOS como agente desidratante, em função do menor grau de penetração e menor dano celular, reduzindo a exposição dos compostos intracelulares às condições adversas durante

o processamento.

A aparência global e a variação da cor são importantes propriedades físicas de frutas desidratadas, uma vez que interferem diretamente na decisão de compra do consumidor (CHONG et al., 2013; LOPEZ et al., 1997). Tais alterações são mais pronunciadas em processos com altas temperaturas, como a secagem, na qual a presença de elevadas concentrações de açúcares redutores (glicose, frutose, maltose etc) pode propiciar o escurecimento desses produtos devido à ocorrência das reações de Maillard, quando na presença de aminoácidos. Há também a degradação de compostos responsáveis pela cor de determinados alimentos, como a clorofila e os carotenoides, ou o escurecimento enzimático devido à oxidação de compostos fenólicos à orto-quinona (melaninas) (BEVERIDGE; HARRISON, 1984; CHONG et al., 2013; CHOU et al., 2000).

ZHAO et al. (2013) avaliaram o efeito do pré-tratamento osmótico sobre o teor de ácido ascórbico e a cor de pimentas submetidas à secagem convencional e em micro-ondas. Os autores verificaram que as amostras submetidas ao pré-tratamento osmótico apresentaram menor redução do teor de ácido ascórbico. Contudo, verificou-se também que essas amostras apresentaram a mesma variação global de cor daquelas submetidas diretamente aos processos de secagem convencional e assistido por micro-ondas.

A quantidade de estudos sobre o efeito do processo de desidratação osmótica sobre a capacidade antioxidante dos produtos processados ainda é pequeno e a maioria está restrita a algumas variedades como mirtilo, maçã, uva, cereja, morango e manga (GIOVANELLI et al., 2012; IGUAL et al., 2013; JACOB; PALIYATH, 2012; NUÑEZ-MANCILLA et al., 2013; STOJANOVIC; SILVA, 2007). Igual et al. (2013) avaliaram o processo de desidratação osmótica como substituto ao tratamento térmico na obtenção de geleias de pomelo e verificaram uma maior retenção da capacidade oxidante nos produtos em que a desidratação osmótica foi empregada.

Segundo Jacob e Paliyath (2012), a capacidade de sequestrar o radical DPPH dos extratos obtidos a partir de cerejas, mangas e mirtilo desidratadas osmoticamente em solução contendo FOS não diferiu estatisticamente dos extratos das frutas *in natura*.

Por se tratar de um método parcial de remoção de umidade, é bastante utilizado como pré-tratamento em outros tipos de processamento, como a secagem convectiva, liofilização, refrigeração, ou em conjunto com aditivos na obtenção de produtos de umidade intermediária, que garantam a estabilidade do produto final (ALZAMORA et al.; 1993; MUGURUMA et al., 1987; RAOULT-WACK, 1994; VIAL; GUILBERT; CUQ, 1991). Torreggiani e Bertolo (2001) mostraram que o pré-tratamento osmótico combinado a vários outros processos (liofilização, congelamento, secagem, etc.) resultou em produtos com evidente melhoria de textura, retenção de cor e vitaminas. Além disto, como o alimento é mantido submerso em solução aquosa durante todo o processo, não há a necessidade de se adicionar aditivos químicos (metabissulfito de sódio, ácido cítrico, etc) ou tratamentos térmicos (branqueamento) para evitar o escurecimento enzimático e oxidativo ao longo do mesmo (PONTING et al., 1966; PONTING, 1973).

Apesar dos possíveis benefícios da aplicação do processo de desidratação osmótica no desenvolvimento das frutas processadas, alterações estruturais refletidas nas características de textura do produto são freqüentemente observadas em função do processo e, sobretudo, do tipo de agente desidratante utilizado (CASTRO-GIRÁLDEZ et al., 2011; MASTRÁNGELO et al., 2000; MUNTADA et al., 1998; NIETO et al., 2013).

3.2.1 Variáveis que influenciam no processo

Há diversas variáveis que influenciam o processo de desidratação osmótica, que são intrínsecas ao produto (espécie, cultivar, grau de maturação, tamanho, forma, entre outras) e às condições de processamento (temperatura, tipo e concentração da solução, contato entre o produto e a solução, etc).

3.2.1.1 Fatores do produto

A estrutura do tecido biológico, em termos da parede e membrana celulares, é de fundamental importância e desempenha um importante papel na transferência de massa que ocorre durante o processo e determina a diferença de comportamento verificada entre vários tipos de materiais estudados, que são devidas à espécie, variedade, grau de maturação, distribuição espacial do tecido no produto, tamanho, geometria, entre outros fatores.

Mavroudis, Dejmek e Sjöholm (2004) estudaram a desidratação osmótica em cultivares de maçã e observaram que tecidos retirados de diferentes partes do mesmo fruto (próximo ao centro e à casca, respectivamente) responderam de forma distinta para a perda de água e o ganho de sólidos. Esta mesma variação foi observada mudando-se a cultivar. Segundo os autores, isto ocorreu devido às diferenças de porosidade e da interconectividade entre os poros, que formam os caminhos e estruturas intracelulares, responsáveis pela mobilidade do soluto e da água dentro das matrizes oriundas das amostras avaliadas.

Todavia, Yang e Lemaguer (1992) verificaram não haver efeito significativo entre diferentes cultivares de morango desidratadas em soluções de sacarose e glicose.

Lerici et al. (1985) demonstraram que quanto maior for a razão entre a superfície total e a espessura da amostra (A/L), maiores serão os valores de perda de água e ganho de sólidos. Entretanto há um valor limite de A/L , a partir do qual ocorre uma diminuição na perda de água e um incremento no ganho de sólidos. Esta redução na perda de água ocorre por que há uma diminuição em sua difusividade, devido à elevada incorporação de açúcar.

3.2.1.2 Fatores do processo

Conforme discutido anteriormente, as propriedades do tecido vegetal desempenham um importante papel durante o processo osmótico, determinando a resistência interna à transferência de massa. Por sua vez, os fatores intrínsecos ao processo, como a temperatura, tipo e concentração da solução osmótica, contribuem de diversas maneiras, seja controlando o potencial de transferência, ou representando a resistência externa à transferência de massa.

Propriedades físicas da solução como sua densidade e viscosidade desempenham um importante papel neste processo, interferindo na mobilidade das espécies, alterando de modo diretamente proporcional a resistência externa à transferência de massa. Desta forma, aspectos econômicos como a potência dos misturadores são influenciados pela viscosidade da solução. Conforme salientaram Chenlo et al. (2002), em soluções muito concentradas, onde a viscosidade normalmente é elevada, a hipótese de se desprezar a resistência externa durante o processo osmótico deve ser evitada, considerando-se a existência do fenômeno de transferência em duas fases (líquida e sólida).

3.2.1.2.1 Concentração e tipo de solução osmótica

A composição e a concentração do meio determinam o potencial químico do processo, que é a força motriz de transferência de massa. Vários solutos têm sido utilizados isoladamente ou em combinações, cuja escolha depende, entre vários fatores, da sua eficácia, da conveniência e do sabor do produto final desejado. A sacarose e o cloreto de sódio têm sido os mais utilizados no processo, para frutas e olerícolas, respectivamente. Há, no entanto, trabalhos com outros tipos de soluto, como frutose e glicose, cujas soluções apresentam menores viscosidade e atividade de água, resultando em maior redução de umidade e maior incorporação de sólidos. Entretanto, em função dos aspectos negativos de alta incorporação desses açúcares, alguns autores têm utilizado xaropes contendo um perfil de carboidratos

com maior massa molecular, o que diminui a impregnação de sólidos, mantendo a mesma perda de água no produto (LAZARIDES; KATSANIDIS; NICKOLAIDIS, 1995; NIETO et al., 2004; NIETO et al., 2013; PEREIRA et al., 2007; SACCHETTI; GIANOTTI; DALLA ROSA, 2001; SALVATORI; ALZAMORA, 2000; SHI et al., 2009; TAIWO et al., 2003; VIAL; GUILBERT; CUQ, 1991).

Sabe-se que o aumento na concentração da solução favorece tanto a perda de água quanto o ganho de sólidos, embora o aumento observado para a perda de água seja bem maior (CONWAY et al., 1983; FERRARI et al., 2005, FERRARI et al., 2011; HAWKES; FLINK, 1978; LAZARIDES; KATSANIDIS; NICKOLAIDIS, 1995).

Alguns autores destacam a diferença marcante entre a penetração de açúcar e sal no tecido celular. Enquanto a sacarose se acumula na superfície do produto, formando uma espécie de barreira à transferência de massa, o sal penetra mais intensamente no tecido e altera significativamente seu sabor (COLLIGNAN; RAOULT-WACK, 1994; LENART; FLINK, 1984a). A utilização de solução contendo ambos os solutos diminui tanto a formação da camada superficial de sacarose quanto a penetração de cloreto de sódio no produto. Além disto, o aumento na concentração de sal, mantendo o teor de sólidos totais da solução ternária, diminui a atividade de água da mesma, com conseqüente aumento da capacidade osmótica (MEDINA-VIVANCO; SOBRAL; HUBINGER, 2002; RAOULT-WACK, 1994; TELIS; MURARI; YAMASHITA, 2004).

Os mecanismos de penetração de sólidos durante o processo são influenciados por suas massas moleculares e especificidades químicas com os componentes do alimento. Lazarides, Katsanidis e Nickolaidis (1995) verificaram que quanto maior a massa molecular do xarope de milho (diferentes valores de dextrose equivalente, DE), menor a incorporação de sólidos, a ponto de se obter, sob várias condições, ganho de sólidos negativos, indicando que a incorporação de sólidos foi menor do que a perda de solutos pelo alimento.

El-Aouar et al. (2006) verificaram o efeito do tipo de agente osmótico na desidratação osmótica de mamão formosa e concluíram que o xarope de milho (DE 40) apresentou uma melhor performance quando comparado à sacarose, pois o produto

apresentou menor incorporação de sólidos e uma maior perda de água em concentrações com mesma atividade de água da solução. Conclusão semelhante foi obtida por Ferrari et al. (2005) desidratando osmoticamente melão amarelo em soluções de sacarose e de maltose. Os autores verificaram também que esta última apresentou melhor desempenho em relação à primeira.

3.2.1.2.2 Temperatura da solução

O aumento da temperatura promove a dilatação da membrana celular e diminuição da viscosidade do meio, elevando o valor da difusividade de água e de sólidos. Por isto os diferentes tipos de produtos e soluções utilizados respondem de forma específica à variação da temperatura. Vários autores afirmam que o efeito positivo verificado para o ganho de sólidos em relação à temperatura é relativamente menor do que o da perda de água. Lenart (1996) obteve que a temperatura afetou significativamente a perda de água, sem influenciar a incorporação de sacarose.

Para o tecido vegetal em geral, não é indicado trabalhar com temperaturas superiores a 50 °C, pois a membrana celular pode sofrer alterações irreversíveis ocasionando amolecimento, alterações de cor e sabor, etc (PONTING et al., 1966). Em relação à qualidade do produto final, normalmente o indicado é se trabalhar em temperaturas abaixo de 50 °C.

3.2.1.2.3 Tempo de processo

Raoult-Wack (1994) e Kowalska e Lenart (2001) afirmam que a transferência de massa ocorre com maior intensidade nas duas primeiras horas e na primeira meia hora de processo para a perda de água e o ganho de sólidos, respectivamente. Decorrido este período, o processo de transferência torna-se cada vez mais lento. Lenart (1996) afirmou que tempos muito elevados favorecem uma maior incorporação de sólidos, devendo ser utilizados em

casos onde uma maior impregnação seja desejada.

Normalmente, o equilíbrio real do processo requer um período muito longo para ser atingido. Porém, muitos alimentos não mantêm sua integridade celular sob certas circunstâncias. Alguns autores afirmam que após 4 a 5 horas de processo não são verificadas diferenças significativas na transferência de massa, podendo este período ser considerado um equilíbrio prático do processo (LAZARIDES, 1994; LENART; FLINK, 1984b).

A definição do tempo ideal de processamento permanece pouco elucidada, uma vez que muitos fatores devem ser levados em conta, como alteração da cor, do sabor e/ou textura, entre outros parâmetros de qualidade. Como esses fatores estão relacionados com a taxa de perda de água e de incorporação de solutos, grande parte dos autores tem usado a redução da taxa de desidratação/impregnação, que ocorre ao longo do tempo de processo, para determinar o tempo de processamento (FERRARI, 2009; KOWALSKA; LENART, 2001; RAOULT-WACK, 1994).

Contudo, não existe um critério definido para se estabelecer a extensão dessa redução. Assim, o tempo de desidratação osmótica utilizado na literatura é muito variado. Ferrari (2009) pré-tratou osmoticamente melão amarelo por duas horas, enquanto que Sanjinez-Argandoña, Nishiyama e Hubinger (2002) desidrataram osmoticamente a mesma fruta por três horas. Embora cada trabalho tivesse objetivos distintos, isto ilustra a dificuldade de comparação da qualidade entre os produtos obtidos, devido a essa falta de uniformidade na definição do tempo de processamento.

Castro-Giráldez et al. (2011) estudaram a cinética de alteração estrutural durante o processo de desidratação osmótica de maçãs. Os intervalos escolhidos por esses autores foram de 5 em 5 minutos nos primeiros 20 minutos e de 15 em 15 a partir de 45 minutos. Enquanto que Bellary, Sowbhagya e Rastogi (2011) utilizaram intervalos de 30 minutos até a primeira hora e, a partir daí, de hora em hora até 5 horas de desidratação de fatias de coco. Embora a estrutura dos produtos tenha sido avaliada em ambos os trabalhos, a comparação do efeito do processo sobre as diferentes amostras se torna um desafio, em função dos diferentes critérios utilizados, por cada grupo de autores, no estabelecimento dos tempos de

processamento escolhidos.

3.2.2 Análise e Modelamento do processo

3.2.2.1 Análise

A análise do processo é feita através do acompanhamento da perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e das alterações sofridas pelo produto (parâmetros físicos e químicos), que refletem a qualidade do mesmo.

Barat (1998) propôs uma definição básica para o alimento submetido ao processo osmótico, que pode ser dividido em duas fases distintas, sob o ponto de vista da engenharia.

- Matriz sólida, formada por todos os compostos insolúveis (principalmente pela parede celular); e
- fase líquida, formada pela água e substâncias hidrossolúveis presentes no alimento.

A razão entre estas fases é chamada de capacidade de retenção de água e está diretamente relacionada à qualidade do produto. Estas duas fases interagem com uma terceira fase do sistema, a solução desidratante.

3.2.2.2 Mecanismos de transferência de massa

Segundo Fito et al. (1998), há basicamente duas abordagens diferentes na modelagem do processo osmótico.

- Abordagem macroscópica: Assume-se que a matriz sólida seja homogênea e o modelamento é feito considerando a difusividade efetiva como um parâmetro que engloba as propriedades da parede, membrana e vacúolo celulares do produto. O mecanismo é o da pseudodifusão e a segunda Lei de Fick e vários outros modelos empíricos e semi-empíricos se aplicam;
- Abordagem microscópica: Reconhece-se a heterogeneidade da matriz e baseia-se na microestrutura do alimento. O modelamento é feito levando-se em conta medidas espaciais de determinadas propriedades físicas, químicas e microscópicas do produto ao longo do processo (FANTA et al., 2013; FITO et al., 1998; MAVROUDIS; DEJMEK; SJÖHOLM, 2004; MONNERAT et al., 2010; TEDJO et al., 2002).

Percebe-se que as diferentes abordagens são complementares e permitem um melhor entendimento dos mecanismos que governam a transferência de massa no processo. Apesar de ser mais representativo, sob o ponto de vista celular, a abordagem microscópica gera uma análise matemática demasiadamente complexa e dificuldades de se quantificar com precisão os efeitos espaciais na amostra, enquanto as simplificações do outro modelo geram uma praticidade matemática extremamente importante nos cálculos de engenharia, sendo por isso a abordagem usual nesta área.

Desde o trabalho pioneiro de Ponting et al. (1966), inúmeros estudos acerca do processo osmótico têm sido reportados. A grande maioria leva em consideração a abordagem macroscópica, onde o alimento é considerado uma matriz homogênea. No entanto, Lenart e Flink (1984b) foram os primeiros autores a sugerirem a importância dos efeitos espaciais na transferência de massa ao longo do processo. Desde então, alguns trabalhos foram desenvolvidos com esta percepção e os resultados mostram que a obtenção dos perfis de concentração, tanto dos solutos, quanto da umidade, são ferramentas importantes para um melhor entendimento e controle do processo (FITO et al., 1998; GENINA-SOTO et al., 2001; MAURO; MENEGALLI, 2003).

Salvatori et al. (1999) avaliaram as diferenças entre os coeficientes efetivos obtidos para maçã, utilizando perfis de concentração (abordagem microscópica) e através da concentração média (macroscópica). Os autores verificaram uma grande discrepância entre os valores obtidos através das duas técnicas. A utilização dos perfis forneceu valores com menores desvios em relação aos dados experimentais. A existência da chamada “fronteira de perturbação”, limite da alteração estrutural devida ao processo osmótico, foi verificada através da utilização da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Fito et al. (1998) verificaram para maçã (cv. *Granny Smith*) que o valor dos parâmetros cinéticos foram independentes da temperatura e espessura inicial da amostra, sugerindo serem apenas função do tecido vegetal.

Genina-Soto et al. (2001) obtiveram perfis de concentração em cubos de batata doce com aresta de 35 mm e observaram que a temperatura afetou o grau de penetração de sólidos. A 26 °C, a entrada de solutos ocorreu superficialmente (5 mm), enquanto que a 50 °C a incorporação ocorreu em toda a amostra.

Mauro e Menegalli (2003) utilizaram um modelo matemático baseado no balanço diferencial de massa, considerando simultaneamente o fluxo de água e o de solutos; e a difusividade sendo dependente do encolhimento da amostra e da concentração da solução. Os autores concluíram que as alterações estruturais sofridas pelo tecido vegetal alteraram a permeabilidade, a porosidade e a tortuosidade de sua membrana, modificando a capacidade de contração celular, o que justificaria as alterações das taxas de transferência de massa, sobretudo em vegetais submetidos a períodos muito longos de processamento.

Fanta et al. (2013) modelaram a transferência de massa durante a desidratação osmótica de pera utilizando um modelo em microescala, que evidenciou a importância das diferentes propriedades microestruturais (espaços intercelulares, parede, membrana e citoplasma celulares) na transferência de massa.

Em todos esses trabalhos, os autores comentaram a dificuldade operacional em se abordar o processo de desidratação osmótica sob o ponto de vista microscópico, visto que o

efeito atribuído às variáveis relativas à estrutura celular (tortuosidade, permeabilidade, porosidade, espaço intracelular, etc) verificado nestes estudos muitas vezes é menor do que o erro associado ao processo (FANTA et al., 2013; FITO et al., 1998; GENINA-SOTO et al., 2001; MAURO; MENEGALLI, 2003; SALVATORI et al., 1999).

Desta forma, muitos autores têm utilizado a abordagem macroscópica para a modelagem da transferência de massa (PA e GS) e os efeitos e alterações na estrutura, fundamentais para a qualidade do produto processado, são avaliados após o processo (NIETO et al., 2004; RODRIGUES; FERNANDES, 2007).

3.2.2.3 Modelagem matemática da cinética de desidratação osmótica

Na abordagem macroscópica do processo, faz-se uso da Teoria Difusional (Segunda Lei de Fick) resolvida por Crank (1975), conforme a Equação 3.1 e considera-se a difusividade mássica (D_{ab}) constante. Desta forma, a resolução é simplificada e este parâmetro passa a englobar indiretamente os efeitos dos vários parâmetros (temperatura, concentração, dimensão da amostra, etc.) que influenciam no processo, sendo então chamada de difusividade efetiva (D_{ef}). Considera-se também que não há variação da concentração da solução osmótica ao longo do processo, o que pode ser conseguido em situações onde a quantidade de solução seja muito superior à da amostra, e que a resistência externa à transferência de massa é desprezível.

$$\frac{\partial X(y,t)}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X(y,t)}{\partial y^2} \quad (3.1)$$

Utilizando as seguintes condições de contorno:

- 1- concentração inicial uniforme $X(y,0) = X_0$
- 2- meio isotrópico (simetria de concentração) $\left. \frac{\partial X(y,t)}{\partial t} \right|_{y=0} = 0$
- 3- concentração de equilíbrio na superfície $X(L,t) = X_\infty$

Tem-se, numa geometria de placa plana:

$$Y_j = \frac{X(y,t) - X_\infty}{X_0 - X_\infty} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right] \times \cos \frac{(2n+1)\pi y}{2L} \quad (3.2)$$

Integrando em y ;

$$\overline{X(t)}^i = \frac{1}{L} \int_0^L X(y,t) dy \quad (3.3)$$

$$\overline{Y_j} = \frac{\overline{X(t)} - X_\infty}{X_0 - X_\infty} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2}\right] \quad (3.4)$$

Onde:

$X(y,t) = PA(y, t)$ ou $GS(y, t)$, em g/100g;

Y_j = adimensional em função da espessura (y) e do tempo (t);

$\overline{X(t)}$, $\overline{Y_j}$ = Valores médios em função do tempo;

Subscritos $\infty, 0$ = Valor no equilíbrio e inicial, respectivamente;

$j = PA$ ou GS ;

t = tempo (s);

D_{ef} = Difusividade efetiva ($m^2 \cdot s^{-1}$);

n = número de termos da série de Fourier;

L = meia espessura do alimento (m).

A Equação (3.4) tem sido amplamente utilizada na modelagem do processo de desidratação osmótica (BARBOSA JUNIOR; MANCINI; HUBINGER, 2013; FALADE; IGBEKA; AYANWUYI, 2007; GENINA-SOTO et al., 2001; KHOYI; HESARI, 2007;

MAURO; MENEGALLI, 2003; MONNERAT et al., 2010; OCHOA-MARTINEZ; RAMASWAMY; AYALA-APONTE, 2007; PARK et al., 2002; SCHMIDT; CARCIOFI; LAURINDO, 2009; SING; PANESAR; NANDA, 2008), entretanto, por desconsiderar as diferenças de concentração nas diversas camadas dos tecidos vegetais, pode englobar regiões centrais do produto, onde não ocorre efetiva transferência de massa, sobretudo em amostras com espessuras maiores (RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004).

Em alguns casos, não é possível atingir o equilíbrio do processo osmótico em função da fragilidade da estrutura celular do material submetido às condições do processo por períodos prolongados. Peleg (1988) propôs um modelo com dois parâmetros para descrever curvas de sorção (Equação 3.5), que tem sido utilizado com sucesso em fenômenos descritos por curvas que atinjam o equilíbrio assintoticamente, inclusive na desidratação osmótica (ABU-GHANNAM; MCKENNA, 1997; KHOYI; HESARI, 2007; PARK et al., 2002; TURHAN; SAYAR; GUNASEKARAN, 2002).

$$m(t)^i = m(0)^i \mp \frac{t}{k'_{1,i} + k'_{2,i}t} \quad (3.5)$$

Onde $m(t)^j$ é a quantidade (em gramas) de água ($j = w$) ou sólidos ($j = s$) na amostra em um instante t qualquer; $m(0)^j$ é a quantidade no início do processo. $k'_{1,i}$ e $k'_{2,i}$ são os parâmetros originais da equação de Peleg (1988).

Na equação (3.5), “±” torna-se “+” se o processo for de impregnação e “-” se for desidratação. Segundo Hawkes e Flink (1978), o ganho de sólidos e a perda de água podem ser determinados por $\overline{X(t)}^j$, conforme a Equação 3.6:

$$\overline{X(t)}^j = \frac{m(t)^j - m(0)^j}{m(0)} \times 100 \quad (3.6)$$

Onde $m(0)$ representa a massa total (em gramas) inicial da amostra. A equação (3.5) em (3.6) fornece:

$$\overline{X(t)}^j = \overline{\tau} \frac{t}{k'_{1,j} \cdot m(0) + k'_{2,j} \cdot m(0) \cdot t} \quad (3.7)$$

Assim, fazendo $K_{1,j} = k'_{1,j} \cdot m(0)$ e $K_{2,j} = k'_{2,j} \cdot m(0)$.

$$\overline{X(t)}^j = \overline{\tau} \frac{t}{K_{1,j} + K_{2,j} \cdot t} \quad (3.8)$$

Segundo Schmidt, Carciofi e Laurindo (2009);

$K_{1,j}$ = constante da taxa dada em $\frac{s \times 100g \text{ amostra}}{g(H_2O \text{ ou Soluto})}$

$K_{2,j}$ = constante de capacidade no equilíbrio dada em $\frac{100g \text{ amostra}}{g(H_2O \text{ ou Soluto})}$

No equilíbrio ($t \rightarrow \infty$) pode-se prever a grandeza $\overline{X(t)}^j = \overline{X(\infty)}^j$, de acordo com a Equação (3.9) e a taxa é obtida conforme a Equação (3.10).

$$\overline{X(\infty)}^j = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{t}{K_{1,j} + K_{2,j} \cdot t} \right) = \frac{1}{K_{2,j}} \quad (3.9)$$

$$\frac{d\overline{X(t)}^j}{dt} = \frac{K_{1,j}}{(K_{1,j} + K_{2,j} \cdot t)^2} \quad (3.10)$$

Logo, a taxa inicial é dada por:

$$\left. \frac{d\overline{X(t)}^j}{dt} \right|_{t=0} = \frac{1}{K_{1,j}} \quad (3.11)$$

Azoubel e Murr (2004) desidratando osmoticamente tomate cereja em soluções de cloreto de sódio (com e sem adição de sacarose) aplicaram o modelo de Peleg e o modelo difusional em coordenadas esféricas e obtiveram valores de difusividade efetiva entre $4,3 \times 10^{-10}$ a $1,77 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para a perda de água e $4,0 \times 10^{-11}$ a $0,54 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para o ganho de sólidos. Os autores concluíram que a adição de sacarose promoveu a redução do valor da difusividade, em função da sua ação redutora sobre o potencial de transferência do processo. Resultados similares foram obtidos durante o modelamento matemático do processo de

desidratação osmótica de cubos de mamão formosa (EL-AOUAR, 2005) e fatias de caju (AZOUBEL, 2002) em soluções de sacarose e xarope de milho.

Ferrari et al. (2005) obtiveram valores do coeficiente efetivo da ordem de 10^{-8} a 10^{-9} m²/s para melão desidratado em soluções de sacarose e maltose. Os autores verificaram ainda que a temperatura foi a variável que exerceu maior influência sobre a difusividade, sobretudo nas menores concentrações das soluções.

Ochoa-Martinez, Ramaswamy e Ayala-Aponte (2007) compararam o modelo de Peleg ao modelo difusional para os dados experimentais de perda de água e ganho de sólidos obtidos a partir de diversas frutas (maçã, abacaxi, etc) e concluíram que o primeiro ajustou-se melhor a estes dados, apresentando erros experimentais inferiores ao modelo difusional.

Ferrari e Hubinger (2008) concluíram que o modelo de Peleg ajustou-se melhor do que o modelo difusional aos dados experimentais da cinética de desidratação osmótica de melão amarelo.

Schmidt, Carciofi e Laurindo (2009), desidratando osmoticamente carne de frango em solução de cloreto de sódio, concluíram que o modelo de Peleg se ajustou melhor aos dados experimentais em relação ao modelo difusional, além de fornecer os dados de equilíbrio. Contudo, os autores ressaltaram o caráter empírico desta equação e a necessidade de se utilizar o modelo difusional, cujo parâmetro obtido (D_{ef}) possui significado físico definido, além de ser mais clara a sua compreensão.

3.2.3 Qualidade de produtos processados osmoticamente

O impacto do processo osmótico sobre a qualidade dos produtos tem sido extensivamente estudado, sobretudo nas três últimas décadas. Vial, Guilbert e Cuq (1991) verificaram a ocorrência de alterações indesejadas na cor, nos teores de ácido ascórbico e de clorofila em kiwis processados acima de 50 °C. Azoubel e Murr (2003) constataram que a

degradação de ácido ascórbico não foi influenciada pelo tipo de soluto utilizado (sacarose e xarope de milho) e que altas temperaturas estavam diretamente relacionadas à diminuição do teor de vitamina C em caju.

Ade-Omowaye et al. (2002) afirmaram que para páprica o processo teve maior influência no teor de vitamina C do que no de carotenoides, já que o ácido ascórbico é hidrossolúvel, enquanto que a grande maioria dos carotenoides não o é.

Pan et al. (2003) trabalhando com abóbora e cenoura em soluções de sacarose e cloreto de sódio, constataram que a diminuição do teor de carotenoides nos produtos processados está diretamente relacionada com a perda de água dos mesmos, que promoveu uma espécie de lixiviação destes fitoquímicos hidrofóbicos.

As propriedades mecânicas de melão amarelo desidratados osmoticamente em soluções de maltose e de sacarose foram avaliadas por Ferrari e Hubinger (2008); os autores verificaram que as amostras processadas em soluções de maltose apresentaram tensões de ruptura mais similares às amostras *in natura* do que aquelas processadas em soluções de sacarose.

O efeito da adição de lactato de cálcio à solução de sacarose nas propriedades estruturais, mecânicas e sensoriais de melões desidratados osmoticamente foi estudado por Ferrari et al. (2010). A adição de até 1% de sal nas soluções promoveu uma maior preservação das propriedades mecânicas e estruturais das amostras. Contudo, concentrações acima de 1,5% não evitaram a plasmólise do citoplasma e os conseqüentes danos à parede celular promovidos pelo processo osmótico. Quanto à sua aceitação sensorial, a presença do lactato somente afetou negativamente os produtos tratados com soluções de sacarose a 40° Brix e acima de 1,5% deste sal.

Alguns trabalhos têm levado em consideração a evolução da composição dos carboidratos durante o processamento osmótico. Mrad et al. (2012) avaliaram a variação da composição de açúcares (frutose, glicose e sacarose) em damascos desidratados em soluções de sacarose e verificaram que as concentrações de frutose e glicose permaneceram

inalteradas (em termos da base seca inicial) e que a de sacarose teve um aumento ao longo do tempo de desidratação.

Klewicki e Uczciwek (2008) avaliaram o efeito de diferentes soluções (frutose, sacarose e fruto-oligossacarídeos) sobre o conteúdo de frutose, glicose, sacarose, cectose e nistose em diferentes variedades de ameixas e maçãs desidratadas osmoticamente. Os autores verificaram que o uso de FOS diminuiu os ganhos de sólidos totais e de cada carboidrato individualmente avaliado (frutose, glicose, sacarose, etc.) em todas as amostras estudadas. Nestes estudos, o teor de carboidratos foi determinado utilizando-se a técnica de cromatografia líquida com detector de índice de refração (HPLC-IR), que apesar de ser a técnica mais difundida, apresenta algumas desvantagens como o alto custo, grande geração de resíduos, elevado tempo para estabilização do detector e limitado grau de separação de alguns carboidratos.

Desta forma, o uso da cromatografia gasosa com detector de ionização de chama tem recebido nos últimos anos maior atenção para a análise de carboidratos em geral, em função da sua maior eficiência de separação, sensibilidade e resolução, além de ser mais simples, econômica e rápida do que o HPLC-IR, mesmo tendo a necessidade de derivatização prévia das amostras de carboidratos antes da injeção no equipamento (De la Fuente et al., 2011; Rojas-Escudero et al., 2004; Ruiz-Matute et al., 2011; Willför et al., 2009). Contudo, não há ainda nenhum estudo empregando esta técnica na avaliação da variação da composição dos diferentes carboidratos em amostras desidratadas osmoticamente.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.1.1 Matéria-prima

Os melões tipo *honeydew orange flesh* utilizados neste estudo, originários de um produtor comercial localizado em Mossoró, Rio Grande do Norte (05°11'S 37°20'O), durante os períodos de agosto a setembro de 2010 a 2013, foram obtidos junto a um distribuidor local (BENASSI, Rio de Janeiro-RJ, Brasil). As frutas foram padronizadas mediante o teor de sólidos solúveis (9 - 11° Brix), peso (1800 a 2000 g), cor da casca (amarelo-esverdeada), comprimento longitudinal e transversal (14 a 16 cm) e espessura da polpa, de acordo com Morais et al. (2009). As amostras foram lavadas e sanitizadas em uma solução 200 ppm de hipoclorito por 10 minutos e armazenadas sob refrigeração (4-6 °C) por até uma semana.

4.1.2 Agentes osmóticos

Utilizou-se sacarose comercial (UNIÃO®), obtida no comércio varejista local, e o xarope de milho desidratado (MORREX-1940®) com 40% de dextrose equivalente (40° DE), que foi fornecido pela Ingredion Brazil® (Mogi Guaçu-SP, Brasil), cuja caracterização encontra-se no anexo 8.1.

4.1.3 Padrões cromatográficos e demais reagentes

Os padrões cromatográficos β -caroteno, padrões de carboidratos (frutose, glicose, sacarose, maltose, isomaltose e metil- α -D-glucopiranosídeo) e os reagentes para capacidade antioxidante (2,6-dicloroindofenol, 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), 2,4,6-tris(2-piridil)-

s-triazina (FRAP), Folin-Ciocalteu e ácido gálico) e para reação de derivatização (piridina e hexametildisilazano + trimetilclorosilano - HMDS/TMCS) foram obtidos da Sigma Aldrich (St Louis, MO, EUA). Os demais solventes e reagentes (acetona, metanol e etanol) de grau analítico (p.a), foram obtidos da VETEC (Rio de Janeiro, Brasil).

4.2 Métodos

4.2.1 Composição centesimal e determinações físico químicas

As análises de umidade, teor de sólidos totais e a acidez titulável foram realizadas de acordo com a AOAC (1997). O teor de sólidos solúveis (° Brix) foi medido a 25 °C em refratômetro Abbe de bancada (Quimis - modelo Q767B, São Paulo, Brasil) e o pH em pHmetro de bancada (Analyser - modelo pH300, São Paulo, Brasil) a 25 °C.

A atividade de água foi determinada por medida direta em um analisador Aqualab (modelo Series 4 TE, Decagon, Devices Inc., Pulman, WA, EUA). As leituras foram realizadas nas amostras das soluções osmóticas de sacarose e xarope de milho de acordo com as condições experimentais descritas na Tabela 4.1. A atividade de água das amostras processadas nas condições otimizadas para cada agente osmótico, em cada tempo determinado no presente estudo, foi medida a a 25 °C.

Tabela 4.1 - Condições experimentais de temperatura e concentração das soluções de sacarose e xarope de milho durante a desidratação osmótica de melão *orange flesh honeydew*, de acordo com o delineamento fatorial completo.

Sacarose			Xarope de milho (40DE)		
Ensaio	C(%p/p)*	T(°C)**	Ensaio	C(%p/p)*	T(°C)**
S1	-1 (33)	-1 (28)	XM1	-1(39)	-1 (28)
S2	1(53)	-1 (28)	XM2	1 (61)	-1 (28)
S3	-1 (33)	1(42)	XM3	-1 (39)	1(42)
S4	1(53)	1 (42)	XM4	1 (61)	1 (42)
S5	0(43)	0(35)	XM5	0(50)	0(35)
S6	0(43)	0(35)	XM6	0 (50)	0(35)
S7	0(43)	0(35)	XM7	0 (50)	0(35)
S8	-1,41 (29)	0(35)	XM8	-1,41 (34)	0(35)
S9	0(43)	-1,41 (25)	XM9	0 (50)	-1,41 (25)
S10	1,41 (57)	0(35)	XM10	1,41 (66)	0(35)
S11	0(43)	1,41 (45)	XM11	0(50)	1,41 (45)

*concentração de solutos (sacarose ou xarope de milho); **temperatura da solução desidratante; valores codificados (valores reais entre parênteses)

As viscosidades das soluções de sacarose foram retiradas de SINDEWLL et al. (1959) e as soluções de xarope de milho foram determinadas em um reômetro modelo 1500EX (TA Instruments, Crawley, Inglaterra) com geometria de cone-placa em aço com diâmetro de 60 mm, ângulo de 2° e o espaçamento entre as placas (*gap*) de 67 µm. A avaliação da viscosidade foi realizada através da determinação das tensões de cisalhamento em função das taxas de deformação. Todos os experimentos foram realizados em triplicata e o registro dos dados ocorreu após o sistema atingir a temperatura desejada. Tais leituras foram obtidas de forma contínua desde a menor até a maior taxa de deformação (300 s⁻¹) em

seguida, submeteu-se a solução a uma rampa descendente de taxa de deformação e, por fim, uma última rampa ascendente de taxa de deformação foi avaliada, para se verificar o comportamento tixotrópico. Os dados experimentais de tensão em função da taxa de deformação foram ajustados pela equação de Otswald deWaele (Equação 4.1), apresentada a seguir, para verificar o comportamento reológico da amostra.

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (4.1)$$

Onde τ é a tensão de cisalhamento (Pa), K é o índice de consistência do fluido (Pa.s), $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s^{-1}) e n é o índice de comportamento do fluido (adimensional). No caso dos fluidos Newtonianos, o índice de comportamento do fluido tem valor unitário e a Equação 4.1 se torna a Lei de Newton da viscosidade (Eq. 4.2) e o K passa a ser a própria viscosidade (μ) do fluido.

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (4.2)$$

4.2.1.1 Análise de Carboidratos

A composição dos carboidratos das soluções osmóticas e das amostras *in natura* e osmoticamente desidratadas foi obtido utilizando a extração e análise por cromatografia gasosa (CG), conforme descrito por Daniele e Casabianca (2012) com algumas modificações.

4.2.1.1.1 Extração

Cerca de 1 grama de amostra foi macerada e a extração feita com solução de etanol (80% v/v) em água. 5 mL dessa solução foram adicionados à amostra macerada e, em seguida

a mistura foi agitada em vortex por meio minuto e mantida em banho maria (80 °C) por 15 min, sendo novamente vortexada por 1 min e separada em centrífuga (Centribio 80-2B, Centribio, São Paulo, SP, Brasil) a 3000 rpm (1643 x g) e temperatura ambiente por 15 min. O sobrenadante foi recolhido em balão de 25 mL. O resíduo foi re-extraído mais duas vezes, de modo a obter valores de recuperação próximos a 100%, conforme ensaios preliminares. Finalmente, o volume do balão foi completado com etanol 80% v/v (Figura 4.1).

4.2.1.1.2 Derivatização

Para análise em CG, é necessária uma etapa anterior à injeção, que é a reação de derivatização dos carboidratos, cuja finalidade é tornar essas substâncias voláteis e estáveis às altas temperaturas durante a etapa cromatográfica. Essa derivatização é na verdade uma reação de silanização das amostras, a partir de uma substituição nucleofílica nos carbonos anoméricos dos carboidratos.

Após a etapa de extração, 500 µL do extrato obtido anteriormente foram adicionados a outros 500 µL de uma solução metanólica de metil- α -D-glucopiranosídeo (padrão interno, 1 mg.mL⁻¹) em um tubo de ensaio com tampa e rosca com subsequente evaporação em bomba de vácuo à 50°C (Figura 4.1).

Em seguida, adicionou-se, aos extratos secos, 325 µL do reagente de silanização, uma solução de HMDS+TMCS+piridina na proporção 3:1:9 em volume. As amostras foram sonicadas por 5 min. Após esta etapa, foram deixadas em estufa (40 °C) por duas horas com os tubos vedados. Após a formação dos produtos da reação de silanização (TMS), o conteúdo dos tubos foi seco em corrente gasosa de N₂, redissolvidos em 1mL de hexano (grau HPLC) e filtrados em *milipore*® (0,45 µm de poro) diretamente para o vial. O esquema do processo de derivatização está resumido na Figura 4.2.

Extração de Carboidratos

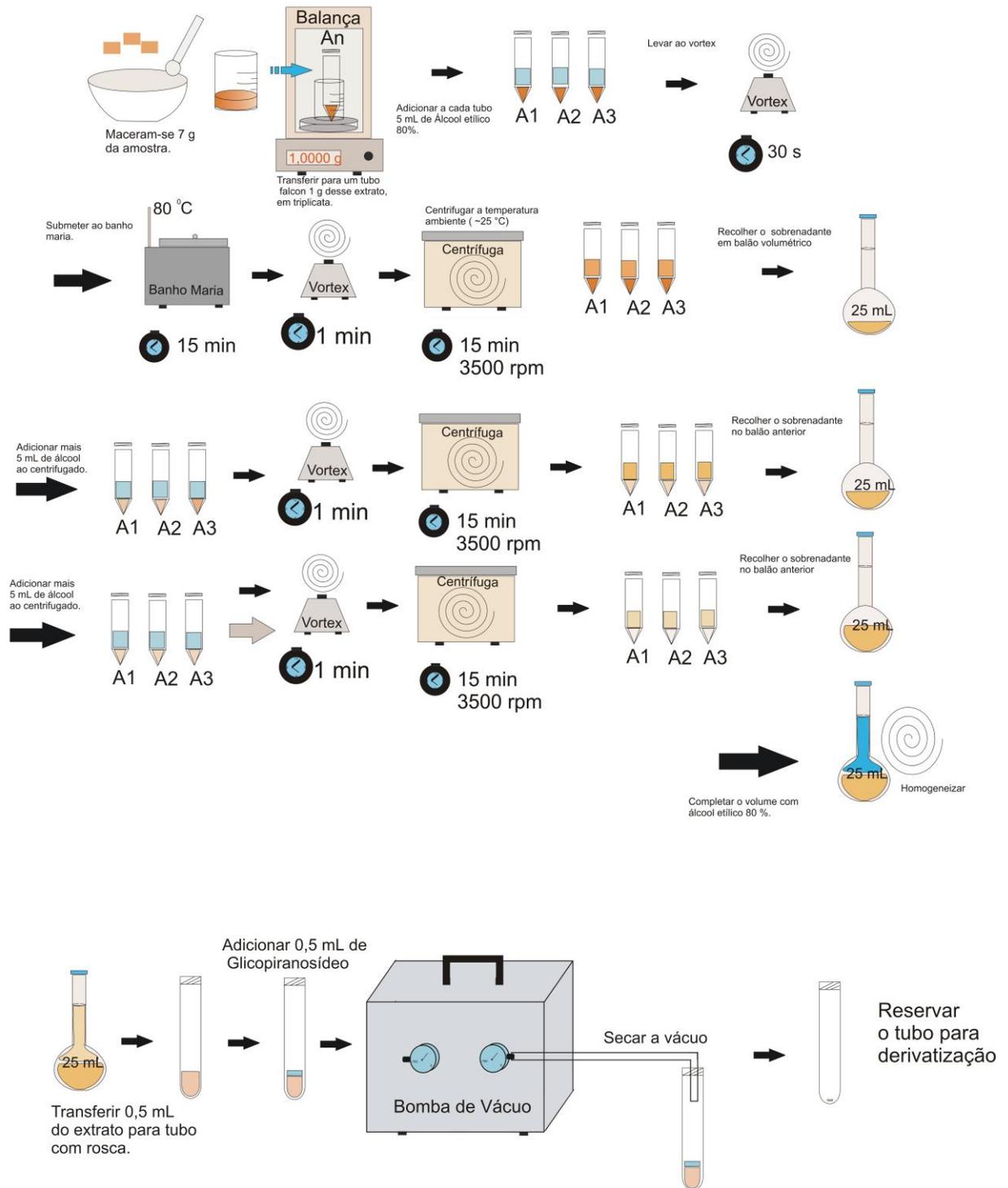


Figura 4.1 - Metodologia experimental do processo de extração dos carboidratos.

Derivatização / CG

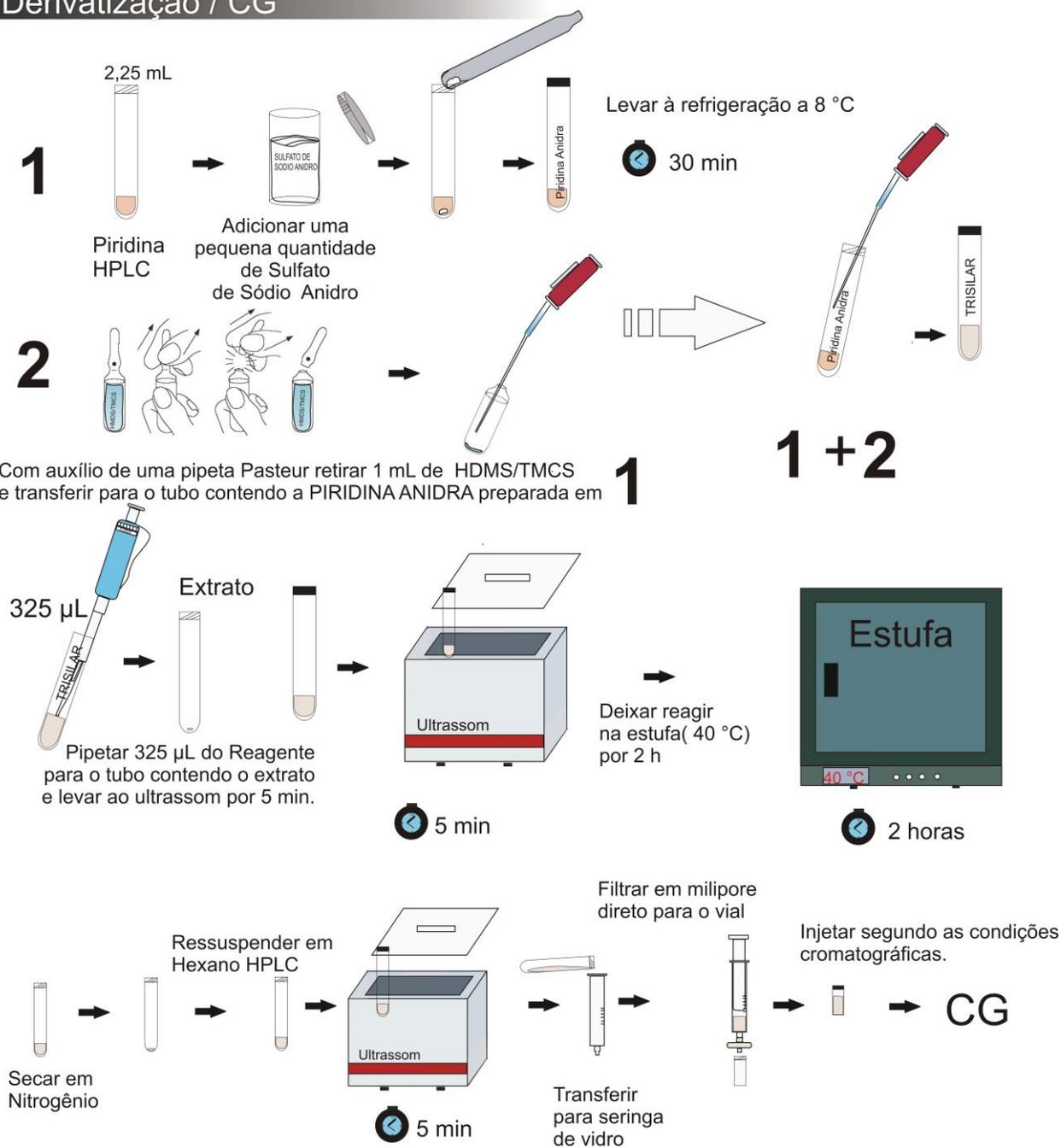


Figura 4.2 - Metodologia experimental do processo de derivatização dos carboidratos.

4.2.1.1.3 Condições cromatográficas

1 µL do conteúdo do vial foi injetado em um cromatógrafo gasoso (Shimadzu, modelo 2010 GC, Tóquio, Japão), equipado com um auto injetor (AOC-20i) nos modos *split-splitless* e detector de ionização de chama. Foi utilizada uma coluna de sílica fundida, modelo Rtx 65MS (30 m x 0,25 mm d.i.; 0,25 µm; 65% de difenil-polisiloxano e 35% de dimetil-polisiloxano; Restek, Bellefonte, PA, EUA). As temperaturas do injetor e do detector foram mantidas em 280 °C. A temperatura do forno seguiu a seguinte programação: 160 °C por 3 min, elevado a 200 °C a uma taxa de 2 °C min⁻¹, de 200 a 280 °C a uma taxa de 5 °C.min⁻¹ e mantida por 5 min em 280 °C. H₂ foi usado como gás de arraste a uma vazão de 30 mL.min⁻¹ (pressure, 400 kPa) e *split ratio* de 1:20. A identificação dos picos de frutose, glucose, sacarose, maltose e isomaltose foi realizada comparando-se com os tempos de retenção dos padrões cromatográficos obtidos. Os fatores de resposta para cada açúcar foram avaliados em relação ao metil-α-D-glucopiranosídeo (0,5 mg) numa faixa de 0,1 a 1,0 mg para cada carboidrato avaliado. Todos os experimentos foram realizados em triplicata e os dados experimentais obtidos foram processados utilizando-se o programa *GC solution*® (Ver. 2.41.00 SU1, Shimadzu, Tóquio, Japão).

4.2.1.1.4 Avaliação da doçura relativa (ADR)

Com os dados obtidos dos teores dos carboidratos nas amostras *in natura* e processadas, foi possível avaliar o impacto do processo sobre a doçura relativa (ADR) dos melões de acordo com Lester (2008) (Equação 4.3):

$$ADR = 1,75.C_f + 0,75.C_g + 1,0.C_s + 0,3.C_M \quad (4.3)$$

C_f=concentração de frutose (mg/g, bs);

C_s=concentração de sacarose (mg/g, bs);

C_g=concentração de glicose (mg/g, bs);

C_M=concentração de maltose (mg/g, bs).

4.2.1.2 Análise dos Carotenoides

Nas amostras frescas e osmoticamente desidratadas, foi realizada a extração dos carotenoides com solvente orgânico (acetona) e quantificação através de leitura em espectrofotômetro UV-Visível (Beckman Coulter, modelo DU 640, Palo Alto, CA, EUA) utilizando éter de petróleo como solvente (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001). Para fins de cálculo, o β -caroteno foi utilizado como carotenoide majoritário, pois representa cerca de 85% desses compostos fitoquímicos nessa variedade (BURGER et al., 2006; LESTER, 2008; LESTER; EISCHEN, 1996). O teor dos carotenoides totais (TC) foi expresso em μg de β -caroteno por grama de amostra e calculado conforme a Equação 4.4. Para as amostras processadas, os resultados foram expressos em termos da massa seca inicial, desconsiderando a perda de água e o ganho de sólidos ao longo do processo.

$$TC(\mu\text{g} / \text{g}_{BS}) = \frac{Abs * V * 10^6}{A_{1\text{cm}(1\%)} * 10^2 * m_{BS}} \quad (4.4)$$

Onde:

Abs = absorvância medida a 449 nm;

V = Volume do balão volumétrico (25 mL);

m_{BS} = massa de amostra seca (g);

$A_{1\text{cm}(1\%)} = 2592$ (absortividade, obtida em uma cubeta com caminho ótico de 1 cm em relação ao β -caroteno em um dado comprimento de onda).

4.2.1.3 Análise instrumental de cor

A cor das amostras frescas e processadas foi determinada em espectrofotômetro de bancada ScanVis, marca Hunter Lab (Riston, Virginia, EUA), utilizando-se as coordenadas da escala CIELab (L^* , a^* , b^*), a luminosidade ($L^*=0$ preto e $L^*=1$ branco), a^* e b^* são as coordenadas de cromaticidade (a^* , do vermelho ao verde; b^* , do amarelo ao azul). O equipamento foi calibrado utilizando-se o módulo de calibração de Reflectância Especular Excluída (RSEX), com o iluminante D65 e um ângulo de observação de 10° . Nas amostras *in natura*, utilizaram-se três frutos de três diferentes lotes e as determinações instrumentais foram realizadas em uma região equatorial do mesocarpo de cada fruto com pelo menos seis diferentes leituras por cada amostra, enquanto que nas processadas, o mesmo número de leituras foi realizado em cada amostra desidratada osmoticamente.

As coordenadas CieLab (a^* , b^* , L^*) foram lidas diretamente do equipamento e o chroma (C^*) e ângulo *hue* (h_{ab}) calculados de acordo com as equações 4.5 e 4.6, respectivamente, enquanto que a diferença média de cor entre a fruta fresca e processada (ΔE^*), pela Equação 4.7.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (4.5)$$

$$h^* = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (4.6)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2 + (L^* - L_0^*)^2} \quad (4.7)$$

4.2.1.4 Capacidade Antioxidante

4.2.1.4.1 Preparo dos Extratos

O processo de extração dos compostos responsáveis pela capacidade antioxidante das amostras frescas e processadas, seguiu a metodologia de Rufino et al. (2010) com algumas modificações (Figura 4.3). Cerca de 7 g das amostras frescas ou processadas foram pesadas em béqueres (200 mL), adicionando-se 35 mL de uma mistura de água, acetona e metanol (numa proporção em volume 40:30:30, respectivamente), agitada a 200 rpm numa mesa orbital (SL180/D, Solab, Piracicaba, SP, Brasil) durante 1 hora a temperatura ambiente. Em seguida, a mistura foi filtrada a vácuo em papel de filtro com tamanho médio (19 µm). O filtrado foi colocado em um balão de 50 mL e o resíduo lavado duas vezes com 5 mL da mistura H₂O:Acetona:Metanol. Os filtrados foram recolhidos e avolumados em um balão de 50 mL.

4.2.1.4.2 Determinação da capacidade antioxidante nos extratos

Nos extratos obtidos das amostras frescas e processadas, foi determinada a capacidade antioxidante *in vitro* utilizando os ensaios *DPPH* (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), conforme Brand-Williams, Culivier e Berset (1995) e *FRAP* (*Ferric Reducing Antioxidant Power*), segundo Thaipong et al. (2006). A determinação de compostos fenólicos totais (TPC) foi feita conforme Swain e Hillis (1959) com algumas modificações.

Atividade Antioxidante

50

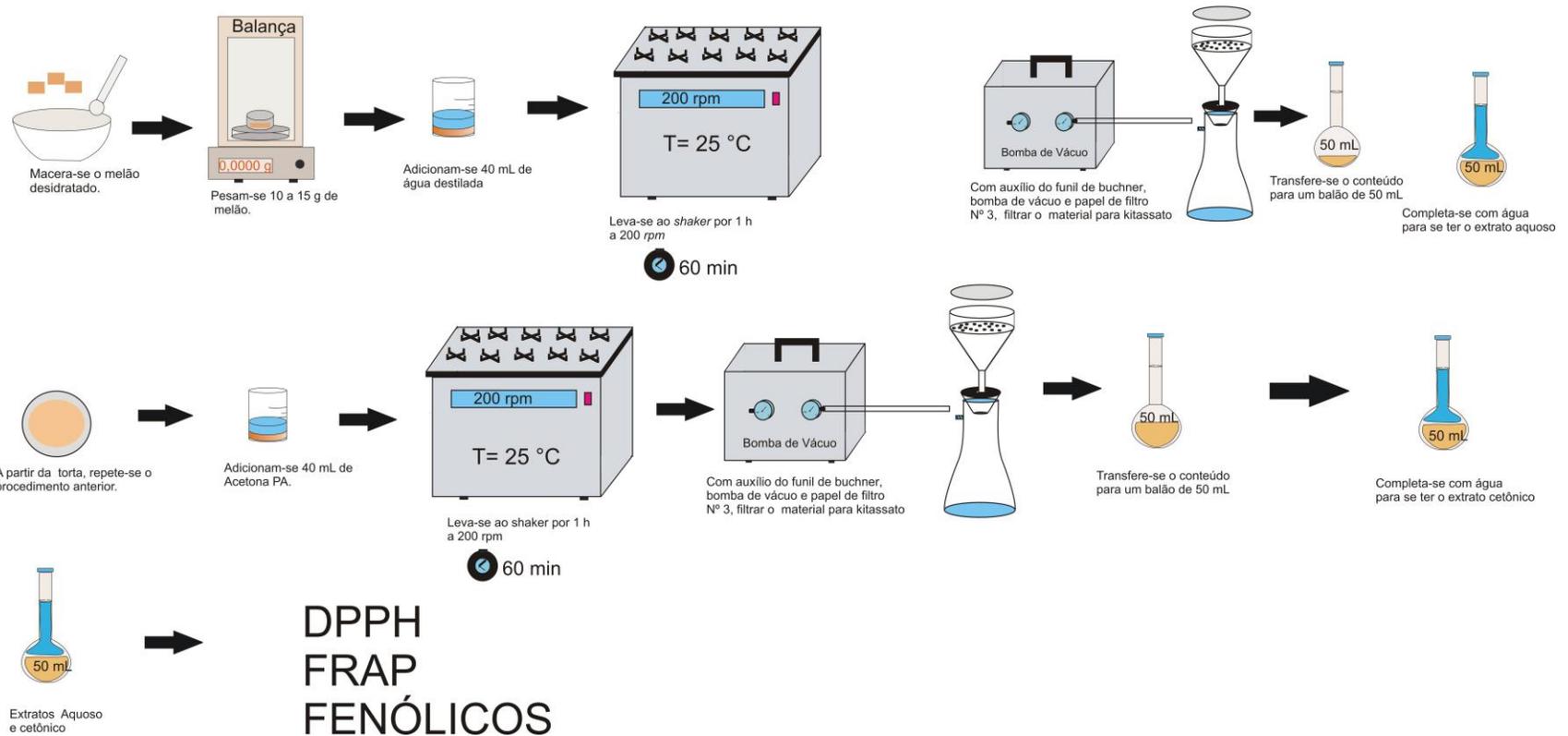


Figura 4.3 - Metodologia experimental do processo de obtenção dos extratos para determinação da capacidade antioxidante.

4.2.1.4.2.1 DPPH

Nos ensaios de DPPH, adicionaram-se 2850 μL de uma solução metanólica do radical *DPPH** (0,06 mM, cuja absorvância é próxima a 700 a 515 nm) a 150 μL de cada extrato. Em seguida, essa solução foi homogeneizada em um tubo vedado e mantido em repouso ao abrigo da luz, em temperatura ambiente por 60 minutos (Figura 4.4). Para comparar a capacidade antioxidante de diferentes compostos, utilizou-se calibração externa e os resultados foram expressos em termos de 3 diferentes padrões antioxidantes:

Trolox® (Abs = $-1,01 \cdot 10^{-3} x + 6,68 \cdot 10^{-1}$; $R^2 = 0,999$; x: 10 – 600 μM of TE, n = 9);

Ácido ascórbico (Abs = $-1,06 \cdot 10^{-3} x + 6,80 \cdot 10^{-1}$; $R^2 = 0,999$; x: 10 – 600 μM of AAE, n = 12) e;

Ácido gálico (Abs = $-3,43 \cdot 10^{-4} x + 6,72 \cdot 10^{-1}$; $R^2 = 0,998$; x: 30 – 200 μM of GAE, n = 6),

ou seja: Trolox Equivalente (TE), Ácido Ascórbico Equivalente (AAE) e Ácido Gálico Equivalente (GAE), respectivamente, em μmol de cada padrão antioxidante por kg de melão (base seca para as amostras *in natura*; e em relação à massa inicial para as amostras processadas, descontando os fluxos de massa). “n” é o número de diferentes concentrações (x, em μM de cada padrão antioxidante) utilizadas na construção das curvas de calibração.

4.2.1.4.2.2 FRAP

Seguiu-se a metodologia de Thaipong et al. (2006) com algumas modificações. O reagente FRAP foi obtido a partir da combinação de 25 mL de tampão acetato 0,3 M; 2,5 mL de uma solução de TPTZ (2, 4, 6-tri(2-piridil)-1, 3, 5-triazina) 10 mM e 2,5 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico 20 mM, e utilizado imediatamente após sua preparação. Em ambiente escuro, uma alíquota de 90 μL do extrato foi diluída em 180 μL de água destilada (1:2, em volume) e a mistura obtida foi adicionada a 2,7 mL do reagente FRAP previamente preparado, sendo em seguida homogeneizados em agitador de tubos e mantidos

em banho-maria a 37 °C. Após 30 minutos, foi feita a leitura no espectrofotômetro a 595 nm, utilizando-se o reagente de FRAP como branco para calibrar o espectrofotômetro (Figura 4.5). Os resultados foram expressos em:

$$\text{TE (Abs} = -9,62.10^{-4} x + 8,57.10^{-3}; R^2 = 0,999; x: 50 - 400 \mu\text{M of TE, n} = 5);$$

$$\text{AAE (Abs} = 1,70.10^{-3} x - 6,30.10^{-3}; R^2 = 0,998; x: 10 - 200 \mu\text{M of AAE, n} = 8) \text{ e}$$

$$\text{GAE (Abs} = 2,06.10^{-3} x - 1,12.10^{-2}; R^2 = 0,994; x: 30 - 200 \mu\text{M of GAE, n} = 7).$$

4.2.1.4.2.3 Compostos Fenólicos Totais (TPC)

A determinação do conteúdo de compostos fenólicos totais nos extratos seguiu o procedimento de Foulin-Ciocalteu, de acordo com Swain e Hillis (1959) e algumas modificações. Adicionou-se 1 mL da solução de Foulin diluída em água destilada (1:10) a 1 mL do extrato e agitou-se vigorosamente por 1 minuto. Em seguida, deixou-se em repouso por 3 minutos para reagir e 1,5 mL de uma solução de Na_2CO_3 (10% p/p) foi adicionado, agitando-se novamente o sistema. Por fim, manteve-se o sistema ao abrigo da luz por 2 horas, fazendo-se a leitura no espectrofotômetro a 725 nm (Figura 4.6). Os resultados foram expressos em termos de:

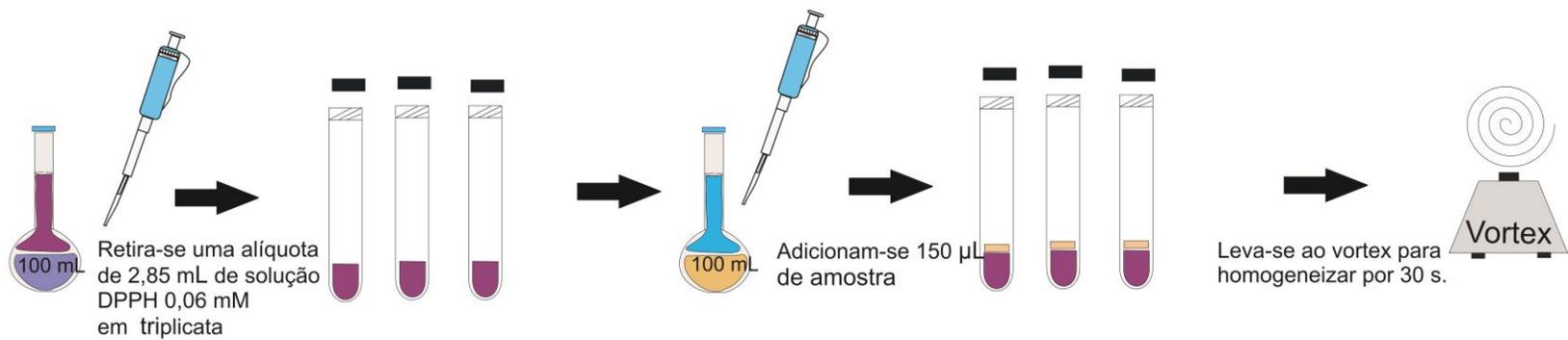
$$\text{TE (Abs} = 1,26.10^{-3} x + 1,24.10^{-1}; R^2 = 0,978; x: 50 - 1000 \mu\text{M of TE, n} = 7);$$

$$\text{AAE (Abs} = 4,86.10^{-3} x + 3,89.10^{-2}; R^2 = 0,998; x: 10 - 600 \mu\text{M of AAE, n} = 12)$$

e

$$\text{GAE (Abs} = 4,54.10^{-3} x + 1,07.10^{-2}; R^2 = 0,998; x: 30 - 200 \mu\text{M of GAE, n} = 7).$$

DPPH



53

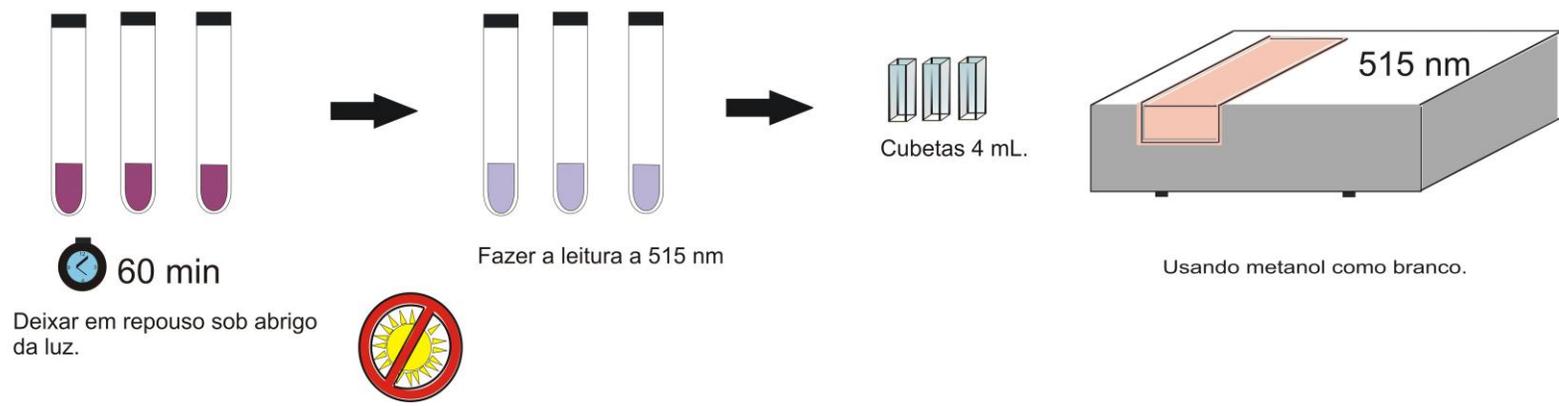


Figura 4.4 - Metodologia experimental da determinação da capacidade antioxidante nos extratos via método DPPH.

FRAP

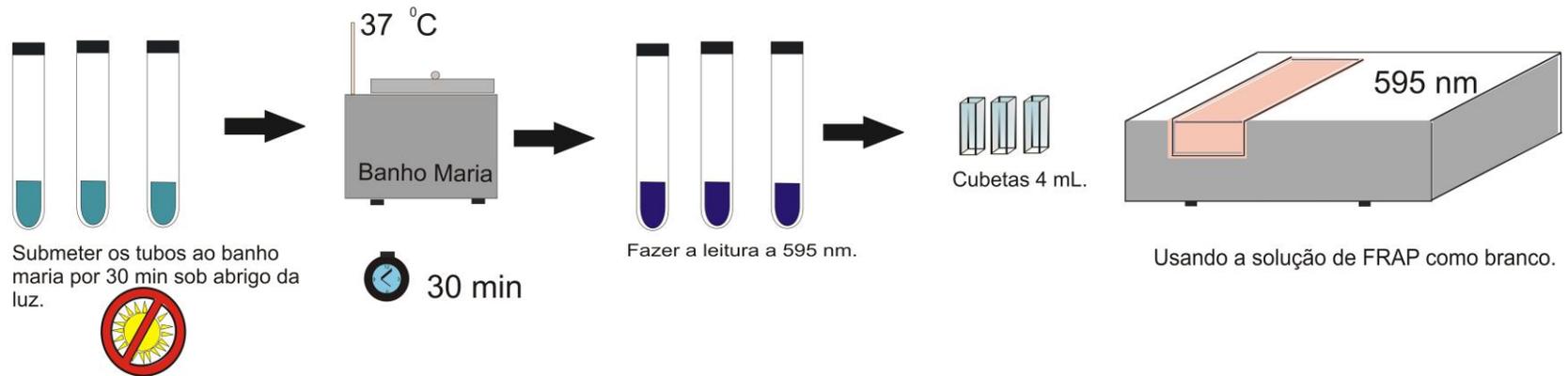
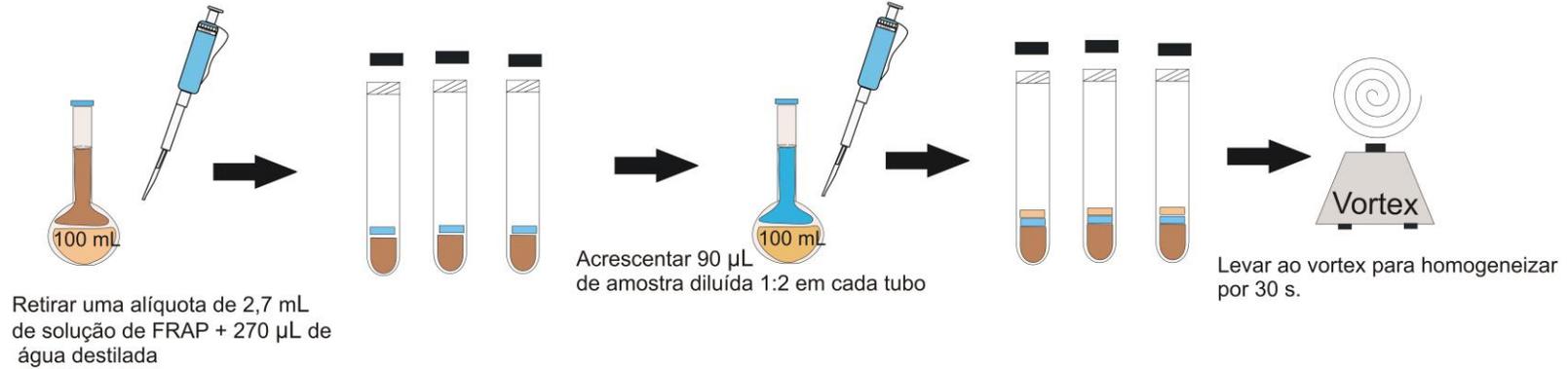
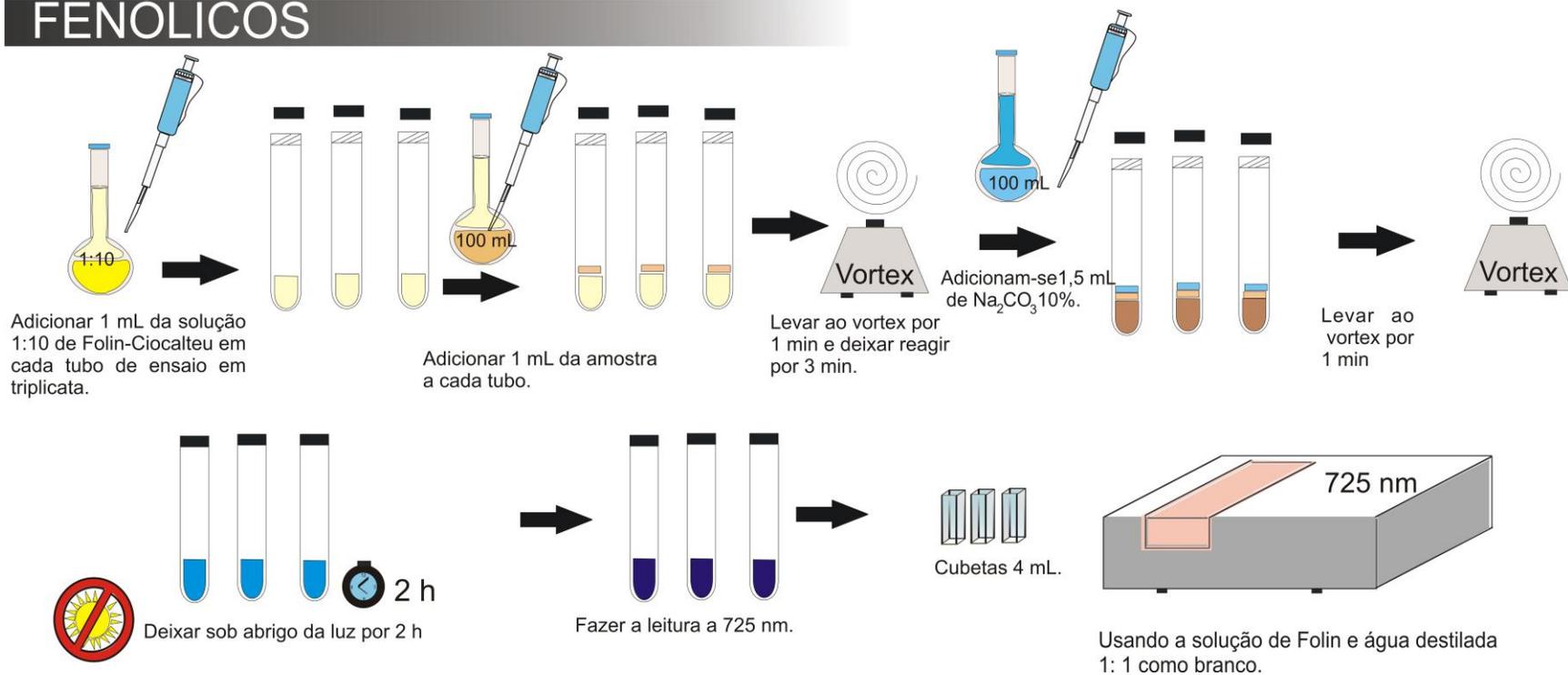


Figura 4.5 - Metodologia experimental da determinação da capacidade antioxidante nos extratos via método FRAP.

FENOLICOS



55

Figura 4.6 - Metodologia experimental da determinação da capacidade antioxidante nos extratos via Compostos Fenólicos Totais.

4.2.2 Análises estruturais

4.2.2.1 Ensaios de compressão uniaxial

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados nas amostras de frutas frescas e nas desidratadas osmoticamente em diferentes agentes osmóticos e uma determinada condição de temperatura e concentração (definida no estudo da cinética de transferência de massa do processo), nos diferentes tempos de n -redução obtidos. 20 a 30 replicatas (amostras contendo 100 mm² de área superficial) foram submetidas a um ensaio de compressão em texturômetro universal (TA.XT2, Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) com carga de 5 Kg a 25 °C, com uma placa de acrílico de 60 mm de diâmetro e velocidade de compressão de 10 mm.min⁻¹ até 80% de deformação da amostra conforme Nieto et al. (2013).

A partir das curvas de força-deformação obtidas, os valores máximos de tensão (σ) e deformação de Hencky (ε) determinados na parte linear da curva representam a tensão e deformação na ruptura, respectivamente (σ_R) e (ε_R). O módulo de elasticidade (obtido na porção linear da curva de tensão-deformação, E_d) e dureza (energia absorvida pelo material até o ponto de ruptura por unidade de volume, W) foram obtidos conforme as Equações 4.8 a 4.11, respectivamente (Nieto et al., 2013). A integral representada pela Equação 4.11 foi resolvida numericamente, usando a regra de Simpson.

$$\sigma = F(t) \cdot [H_0 - H(t)] / (A_0 \cdot H_0) \quad (4.8)$$

$$\varepsilon = \ln \left[\frac{H_0}{H(t)} \right] \quad (4.9)$$

$$E_d = d\sigma / d\varepsilon \quad (4.10)$$

$$W = \int_0^{\varepsilon_R} \sigma \cdot d\varepsilon \quad (4.11)$$

Onde A_0 é a área inicial da amostra (m²); $H(t)$ e $F(t)$ representam a altura (m) e a força (N) exercida pelo probe durante o ensaio. O subscrito 0 refere-se aos valores iniciais.

4.2.2.2 Análise da microestrutura

Visando acompanhar a extensão das alterações na microestrutura das amostras processadas osmoticamente, utilizou-se a metodologia de Ferrari et al. (2013). Amostras (10 x 10 x 4 mm) retiradas da porção central da fruta *in natura* e processada em soluções de sacarose e xarope de milho nos diferentes tempos de *n*-redução foram fixadas por 48 horas em solução tamponada (pH = 7,0) com fosfato de potássio bibásico 0,2 M e 0,1 M de ácido cítrico monohidratado, contendo 4% (v/v) de glutaraldeído e 4% (p/v) de sacarose. Em seguida, as amostras foram desidratadas em série alcoólica. Durante 1 hora as amostras foram imersas sucessivamente em soluções (4% de sacarose, p/v) contendo 10, 30 e 50% (v/v) de álcool etílico, respectivamente. Após essas etapas, as amostras foram imersas em solução de álcool 70% (v/v), isenta de sacarose, por pelo menos 16 horas. Em sequência, as amostras foram desidratadas por 15 minutos em álcool 100% e em seguida infiltradas em resina hidroxietil metacrilato (HistoResin, Leica Microsystems-Jung, Heidelberg, Alemanha) e colocadas em blocos para serem seccionadas (10 µm) em micrótomo rotativo (820 Spencer Microtome, American Optical Corporation, Nova Iorque, EUA), montadas em lâminas e coradas com azul de toluidina a 0,05% em tampão acetato (pH 4,7). Por fim, as amostras foram observadas em microscópio ótico Olympus (Modelo BX 51, Olympus Optical CO., Tóquio, Japão).

4.2.3 Desidratação osmótica

4.2.3.1 Metodologia experimental dos ensaios de desidratação osmótica

O processo foi conduzido em uma incubadora (Modelo TE-421, TECNAL®, Piracicaba, SP, Brasil) com controle de temperatura e agitação. Os melões utilizados foram divididos ao meio a partir do ápice e tiveram sua casca removida manualmente. A parte central restante da polpa foi cortada em placas com as seguintes dimensões: 30 x 40 x 5 mm. Em seguida, cada uma destas amostras foi pesada e colocada na incubadora com agitação constante de 80 rpm, dentro de frascos com capacidade de aproximadamente 200 mL contendo a solução desidratante na proporção amostra/solução de 1:10 em massa, para evitar a diluição da solução. As amostras foram removidas da incubadora em tempos pré-determinados, sendo o excesso de solução removido com água destilada e, logo após, o excesso de água foi removido com o auxílio de papel absorvente. Por fim as amostras foram pesadas (Figura 4.7).

4.2.3.2 Delineamento Experimental dos ensaios de desidratação osmótica

O processo de desidratação osmótica das fatias de melão tipo *honeydew orange-fleshed* nas soluções de sacarose e xarope de milho foi estudado mediante delineamento fatorial completo 2^2 , com duas variáveis independentes: temperatura (T) e concentração da solução osmótica (C), com triplicata no ponto central e quatro pontos axiais, totalizando 11 experimentos para cada agente osmótico.

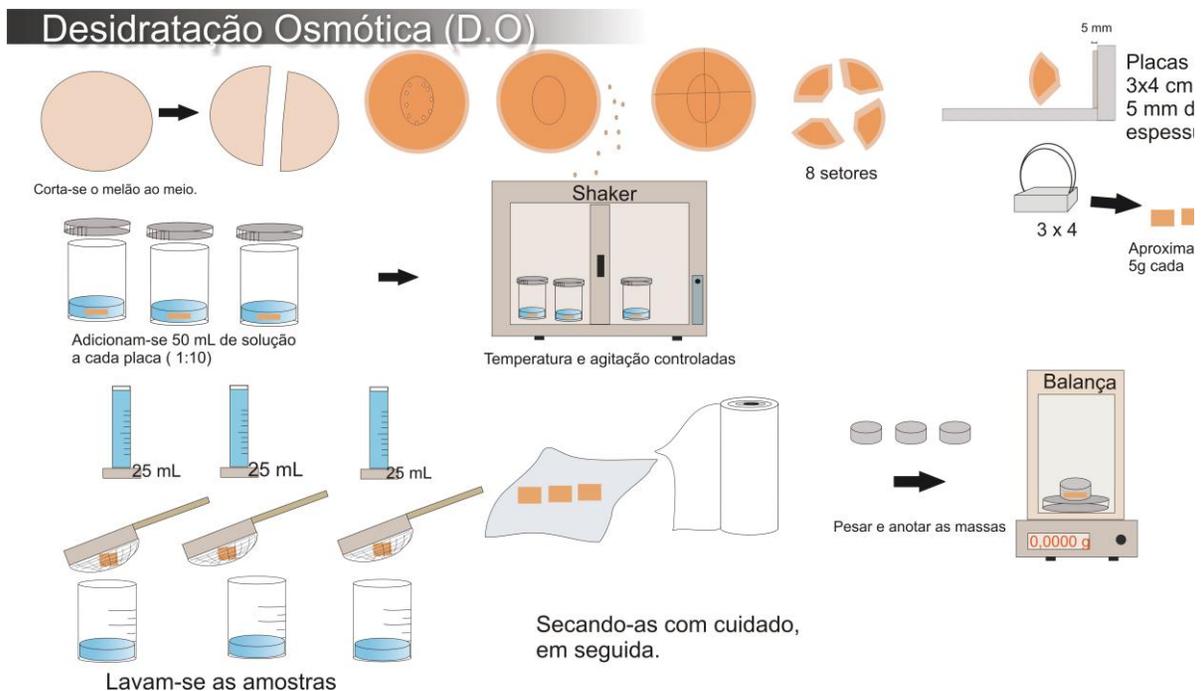


Figura 4.7 - Etapas da metodologia experimental do processo de desidratação osmótica.

O tempo de processo não foi considerado um fator no delineamento experimental utilizado, pois em processos cinéticos há uma grande probabilidade desta variável encobrir o efeito das demais nas respostas estudadas (MUTHUKUMAR et al., 2004). Desta forma, em cada condição definida nos planejamentos, foram obtidas cinéticas (conforme o item 4.2.3.3) para se avaliar corretamente o efeito do tempo no processo.

As faixas de temperatura e concentração utilizadas neste estudo estão apresentadas na Tabela 4.1. Os valores de concentração para sacarose e xarope de milho foram definidos de modo a produzirem soluções com atividade de água semelhante para cada nível estudado dos agentes osmóticos. O menor valor da atividade de água utilizado foi determinado na concentração próxima ao limite de solubilidade do xarope de milho à temperatura ambiente. As demais condições de concentração e temperatura utilizadas foram definidas a partir dos valores encontrados na literatura.

O valor dos pontos 1/2 axiais (α) foi obtido a partir de uma extrapolação do valor de α , calculado de acordo com a Equação (4.12):

$$\alpha = 2^{\frac{n}{4}} \quad (4.12)$$

Onde n é o número de fatores ou variáveis independentes; neste estudo $n=2$, logo $\alpha = 1,41$.

Nesta etapa, a atividade de água e viscosidade da solução, assim como os parâmetros cinéticos de PA e GS foram estudados utilizando um delineamento fatorial completo, que pressupõe a existência de uma função ψ para cada resposta estudada $\varphi (a_w, \mu, K_{2, i}, K_{1, i}, D_{ef}, t_{1/2, i}, \overline{X(t_{1/2})}^j)$ em função das variáveis independentes (concentração e temperatura da solução) (KHURI; CORNELL, 1996):

$$\psi = \varphi(C, T) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + e \quad (4.13)$$

Onde:

β_0 =valor médio da função ψ ;

β_1 =coeficiente linear da concentração na função ψ ;

β_2 =coeficiente linear da temperatura na função ψ ;

β_{12} =coeficiente de interação entre a temperatura e a concentração na função ψ ;

β_{11} =coeficiente de ajuste quadrático da concentração na função ψ ;

β_{22} = coeficiente de ajuste quadrático da temperatura na função ψ ;

e = erro experimental

Os coeficientes foram determinados a partir do método dos mínimos quadrados e o modelo obtido foi submetido à análise de variância (ANOVA) e testes de hipóteses (Teste F) utilizando-se o programa STATISTICA 5.0® (STATSOFT, 1995).

4.2.3.3 Cinética de desidratação osmótica

Para o estudo das cinéticas, o processo de desidratação osmótica foi realizado em vários intervalos de tempo (0, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 600, 1440 min). As faixas de temperatura e concentração da solução osmótica e as condições resultantes do delineamento experimental estão descritas na Tabela 4.1, para ambos os agentes osmóticos.

O ganho de sólidos (GS) e a perda de água (PA) foram calculados de acordo com a equação (3.6).

$$\overline{X(t)}^j = \frac{m(t)^j - m(0)^j}{m(0)} \times 100 \quad (3.6)$$

4.2.3.3.1 Modelamento Matemático das Cinéticas de desidratação osmótica

A taxa de desidratação/impregnação durante a desidratação osmótica está diretamente ligada ao potencial de transferência de massa, refletindo-o indiretamente. Desta maneira, a redução nesta taxa pode ser entendida como uma forma de se verificar a extensão deste processo. Define-se o tempo de meia vida $\left(t_{1/2}^j\right)$ para a taxa de desidratação/impregnação, como sendo o tempo necessário para que a respectiva taxa (Eq. 3.11) seja reduzida à metade do seu valor inicial, da seguinte forma:

$$\left. \frac{d\overline{X(t)}^j}{dt} \right|_{t=t_{1/2}} = \frac{1}{2} \left. \frac{d\overline{X(t)}^j}{dt} \right|_{t=0} \quad (4.14)$$

No lado esquerdo da equação 4.14 substitui-se a equação 3.10 e, no seu lado direito,

a equação 3.11. Fazendo $\left(t = t_{\frac{1}{2}}^j\right)$, resulta:

$$\frac{K_{1,j}}{\left(K_{1,j} + K_{2,j}t_{\frac{1}{2}}^j\right)^2} = \frac{1}{2} \frac{1}{K_{1,j}} \quad (4.15)$$

Resolvendo algebricamente;

$$\frac{2K_{1,j}^2}{K_{1,j}^2 + 2K_{1,j}K_{2,j}t_{\frac{1}{2}}^j + \left(K_{2,j}t_{\frac{1}{2}}^j\right)^2} = 1 \quad (4.16)$$

Dividindo por $K_{2,j}^2$, e fazendo $\delta = \frac{K_{1,j}}{K_{2,j}}$ tem-se:

$$0 = -\delta^2 + 2\delta t_{\frac{1}{2}}^j + \left(t_{\frac{1}{2}}^j\right)^2 \quad (4.17)$$

Resolvendo a equação, conclui-se que apenas uma raiz possui significado físico, visto que a outra é negativa. Logo:

$$t_{\frac{1}{2}}^j = \frac{K_{1,j}}{K_{2,j}}(\sqrt{2} - 1) \quad (4.18)$$

A escolha da redução à metade do valor inicial da taxa, deveu-se ao fato da

familiaridade com o conceito do tempo de meia vida; contudo pode-se ampliar a extensão até uma n -ésima redução da taxa. A Equação (4.18) pode ser reescrita como:

$$t_{\frac{1}{n}}^j = \frac{K_{1,j}}{K_{2,j}} (\sqrt{n} - 1) \quad (4.19)$$

Onde ($0 < n < \infty$); quando $n \rightarrow \infty$, o sistema tende ao equilíbrio.

Deste modo, ter-se-ia a possibilidade de se utilizar o tempo das n -reduções como forma de avaliar o efeito do processo de desidratação osmótica sobre as propriedades estruturais, sensoriais e físico-químicas dos produtos processados, o que facilitaria a comparação entre as conclusões obtidas pelos diferentes estudos sobre o efeito do processo nos alimentos. Mesmo que tais efeitos tenham sido avaliados em diferentes tempos, produtos, temperatura, tipo e concentração da solução, há um sentido físico em sua definição, baseado indiretamente no potencial de transferência que rege o processo.

Para inferir um significado físico ao tempo de meia vida e, conseqüentemente, aos parâmetros de Peleg, utilizou-se a resolução obtida por Crank (1975) para a difusão em um alimento (placa plana) imerso em solução osmótica, com a concentração mantida constante ao longo do processo, que assume a seguinte forma para pequenos intervalos de tempo:

$$\frac{\overline{X(t)}^j}{\overline{X(\infty)}^j} = 2 \sqrt{\frac{D_t^j t}{\pi L^2}} \quad (4.20)$$

Rearranjando as Equações (4.20), (3.9) e (3.8), tem-se a difusividade em cada tempo de processo (D_t^j):

$$D_t^j = \frac{\pi}{4} \left(\frac{L}{\frac{K_{1,j}}{K_{2,j}} + t} \right)^2 \quad (4.21)$$

E, da Eq. (4.18) na Eq. (4.21), tem-se:

$$D_t^j = \frac{\pi}{4} \left(\frac{L}{\frac{t_{1/2}}{\sqrt{2}-1} + t} \right)^2 \quad (4.22)$$

Finalmente, substituindo a Eq. (4.20) na 4.22, temos o modelo do tempo de meia vida da taxa de desidratação ou de impregnação (Equação 4.23).

$$\frac{X(t)}{X_\infty} = \left[\frac{t_{1/2}}{t(\sqrt{2}-1)} + 1 \right]^{-1} \quad (4.23)$$

De modo a comparar a difusividade obtida pelo modelo difusional (resolvido por Crank) com a obtida mediante o modelo do tempo de meia vida, o valor médio da difusividade (\bar{D}^j) é estimado ao longo de todo o processo utilizando-se a Eq. (4.24) ao invés da média aritmética, devido à variação e a não uniformidade dos intervalos de tempo utilizados.

$$\bar{D}^j = \frac{\int_0^t D_t^j .dt}{\int_0^t dt} \quad (4.24)$$

Esses valores foram comparados aos valores das difusividades obtidos pela Equação 3.4 (D_{ef}), usando-se o pacote de regressão não linear do programa *Statistica*® 5.0 (Statsoft, Inc) para os primeiros quatro termos da série infinita.

4.2.4 Ajustes dos modelos matemáticos

Os ajustes dos modelos propostos aos dados experimentais, que foram efetuados mediante o procedimento de regressão linear e não-linear, e a análise estatística decorrente do planejamento experimental foram feitos através da utilização do programa *Statistica*® 5.0 (Statsoft, Inc).

Os resultados obtidos durante os experimentos foram avaliados estatisticamente através da Análise da Variância, aplicando o teste de Tukey ao nível de 5% de significância, com o auxílio do mesmo programa.

Os critérios utilizados para a escolha dos melhores ajustes foram: o coeficiente de determinação (r^2) dos modelos e o valor do desvio relativo médio (P) descrito pela seguinte equação que, conforme Lomauro, Bakshi e Labuza (1985), não deve exceder 10% ($P \leq 10\%$).

$$P = \frac{100}{N} \sum_{N=1}^N \frac{|V_{\text{exp}} - V_{\text{pred}}|}{V_{\text{exp}}} \quad (4.25)$$

Onde V_{exp} representa os valores obtidos experimentalmente, V_{pred} os preditos pelos modelos e N o número de pontos dados experimentais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da matéria-prima

Os resultados das análises físico-químicas realizadas nos melões estudados estão apresentados na Tabela 5.1. Como os dados na literatura sobre a composição centesimal para melões tipo *orange flesh honeydew* são bastante escassos, os resultados obtidos neste trabalho foram comparados com os de outros tipos de melões. Verificou-se que o valor de umidade foi similar ao obtido por Figueiredo et al. (2007) para melão cantaloupe e por Sanjinez-Argandoña, Nishiyama e Hubinger (2002) para melão amarelo tipo *Gold Mine*. O teor de cinzas foi ligeiramente maior do que os observados por Maietti et al. (2012) para melões *Reticulatus* dos cultivares “baggio” e “giusto”.

A qualidade comercial do melão é normalmente determinada pelo total de sólidos solúveis, pH, acidez e pelo conteúdo de açúcares presentes no fruto (SUPAPVANICH; TUCKER, 2011; VILLANUEVA et al., 2004). O melão estudado apresentou 6,5 de pH, 9,2° Brix e 5,24 mg de ácido cítrico equivalente por cada 100 g de amostra fresca, conforme apresentado na Tabela 5.1. De forma geral, os parâmetros obtidos no presente estudo estavam de acordo com as normas internacionais referentes a padrões para melão, como a FFV-23, da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (UNECE, 2006).

Mendonça et al. (2005) estudaram a variação do pH no melão *orange flesh honeydew* em função do tempo de armazenamento e concluíram que esse parâmetro permaneceu inalterado durante o período estudado, no valor de 5,9. Em relação a outros tipos de melões, o pH observado foi superior ao dos melões *standard*, *grafted* e *hybrid*, cujos valores foram 5,61, 5,91 e 5,49, respectivamente (KOLAYLI et al., 2010).

Tabela 5.1 - Propriedades físicas e químicas de melão *orange flesh honeydew*.

Análise	Média ± desvio padrão
Umidade (g/100 g, BU)	92,01 ± 4,39
Sólidos solúveis (° Brix)	9,2 ± 0,8
Acidez total (mg de ácido cítrico/100 g, BU)	52,4 ± 0,5
Cinzas (g/100 g, BU)	0,45 ± 0,09
pH	6,5 ± 0,3
a _w	0,987 ± 0,003
TC (µg de β-caroteno/g, BS)	270,59 ± 5,05
Frutose (mg/g, BS)	229,7 ± 13,4
Glicose (mg/g, BS)	159,3 ± 7,2
Sacarose (mg/g, BS)	376,3 ± 12,3
Doçura Relativa (ADR, mg/g, BS)	897,8
Açúcares Totais (mg/g, BS)	765,3
Parâmetros colorimétricos	
<i>L</i> *	61,46 ± 1,46
<i>a</i> *	15,33 ± 1,03
<i>b</i> *	34,71 ± 2,08
<i>C</i> *	37,96 ± 2,34
<i>h</i> _{ab} *	66,16 ± 0,94

(BS – base seca; BU – base úmida); TC – teor de carotenoides totais; *C** - croma; *h*_{ab}* – ângulo hue, conforme coordenadas CieLab (*a**, *b**, *L**).

O teor de sólidos solúveis totais do melão do presente trabalho foi inferior ao observado para melões *orange-flesh* (LESTER; JIFON; ROGERS, 2005; MENDONÇA et al., 2005); *honeydew* amarelo, variedade *muskmelon trial* (JOHNSTONE; HARTZ; MAY, 2008) e ao valor de 10° Brix recomendado pela United Nation Economic Commission for Europe (UNECE, 2006).

Teores de sólidos solúveis totais de 8,74 a 8,99° Brix foram reportados por Mendonça et al. (2005) para melões *orange-flesh* armazenados em diferentes temperaturas. Lester, Jifon e Rogers (2005) verificaram que os teores de sólidos solúveis variaram em função do ano de colheita de 8,0 a 8,8° Brix para melões *orange-flesh* cantaloupe *Cruiser*, enquanto que Johnstone et al. (2008) obtiveram valores de 11,5° Brix e 11,2° Brix para melões *Honeydew* e *trial*, respectivamente (LESTER; JIFON; ROGERS, 2005; LESTER; SAFTNER, 2008).

O teor de açúcar do melão é um importante atributo para sua qualidade comercial e aceitação sensorial e está diretamente relacionado ao seu teor de sólidos solúveis, cujos valores inferiores ao recomendado pela UNECE podem estar relacionados à redução do tempo de colheita, uma vez que estes melões são frutos climatéricos, mas não acumulam amido como a maioria das outras frutas, assim necessitam do mecanismo de translocação dos compostos fotoassimilados nas folhas para os frutos, durante os processos de crescimento e amadurecimento, que é interrompido após a colheita e mantém praticamente inalterados os teores de açúcares (OBANDO et al., 2008; NUÑEZ-PALENIUS et al., 2008).

Ainda de acordo com a Tabela 5.1, o teor de carotenoides totais foi de 270,59 µg por g de amostra seca ou 16,6 µg por g de amostra úmida e está de acordo com o trabalho de Lester e Eischen (1996), que analisaram o conteúdo de carotenoides em diversas variedades de melões e obtiveram uma faixa de 0,53-3,38 mg por cada 100 g de amostra úmida.

O valor obtido no presente trabalho foi ligeiramente superior ao reportado por Fleshman et al. (2011) para a mesma variedade estudada e para o cantaloupe, cujos valores foram de 242,80 e 176,30 µg de β-caroteno por g de amostra seca, respectivamente. Satisfner

et al. (2006) reportaram teores de β -caroteno muito inferiores, próximos à metade do presente estudo, para genótipos de melões *orange Honeydew*. Enquanto Lester e Hodges (2008) obtiveram teores de β -caroteno que variaram entre 810 a 1559 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ em base úmida para cinco genótipos de melão *orange-fleshed Honeydew*, colhidos no outono de 2005 e primavera de 2006.

Para outros tipos de melões cultivados em diferentes regiões dos Estados Unidos, em Honduras e no México foram reportados teores de β -caroteno que variaram de 2448 a 3861 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (base úmida) em melões cantaloupe, enquanto que para os *Honeydew*, o teor de carotenoides variou de 63,1 a 172,90 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ (base úmida) (LAUR; TIAN, 2011).

Wolbang et al. (2010) avaliaram o teor de carotenoides de sete cultivares de melões *reticulatus* de polpa alaranjada e reportaram variação de 900 a 2300 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ de β -caroteno em base úmida.

Sabe-se que o conteúdo de carotenoides sofre uma grande variação de diversos fatores como incidência de luz solar, grau de estresse a que a planta é submetida, cultivar e, dentro de uma mesma cultivar, há uma grande variação nesses compostos durante a maturação do fruto em função de sua síntese nos cloroplastos, que ocorre ao longo deste processo. Por isso o grau de amadurecimento do fruto está intimamente relacionado à quantidade de pigmento que ele possui (PALIYATH et al, 2008; WOLBANG et al., 2010).

Lester (2008) avaliou o teor de carotenoides em melão *orange flesh honeydew* e verificou que além do grau de amadurecimento, a concentração desses fitoquímicos variou também em função da posição radial da porção estudada; as maiores concentrações foram encontradas na parte mais interna do mesocarpo dos frutos, diminuindo nas regiões mais externas.

Rodriguez-Amaya (2010) observou que o local de cultivo apresentou uma forte influência sobre o conteúdo de carotenoides em diferentes tipos de frutos cultivados no Brasil. A autora mostrou que os mamões Formosa produzidos no clima temperado de São Paulo apresentaram menores teores de β -caroteno, β -criptoxantina e licopeno do que aqueles

cultivados no estado da Bahia, de clima tropical. Semelhantemente, os teores de β -caroteno encontrados em acerolas cultivadas nos estados de Pernambuco e do Ceará foram de cinco a seis vezes maiores do que naquelas cultivadas também em São Paulo. As mesmas observações foram obtidas para outras frutas e hortaliças. Assim, a maior exposição à luz solar e à elevada temperatura demonstraram uma grande influência sobre a biossíntese dos carotenoides, elevando a concentração destes fitoquímicos nos produtos avaliados.

Um outro importante atributo de qualidade é a coloração da polpa que, nestes melões, está diretamente relacionada à quantidade de carotenoides presentes no fruto (FLESHMAN et al., 2011; SAFTNER et al., 2006; SAFTNER; LESTER, 2009).

De acordo com a Tabela 5.1, os valores de L^* , a^* and b^* obtidos para o melão *orange flesh honeydew* foram de 61,79, 17,20 e 35,95, respectivamente. Resultado similar foi reportado por Saftner et al. (2006) para genótipos de melão *orange honeydew* ($L^* = 62-65$). Entretanto, a luminosidade (L^*) obtida foi inferior ao valor reportado por Supapvanich e Tucker (2011) para outras variedades de melões *honeydew* ($L^* = 73,9$) e rendilhado ($L^* = 71,61$) (SAFTNER; LESTER, 2009). Como esperado, os valores de a^* e b^* foram superiores aos reportados para outra variedade de *honeydew*, cujos valores foram: -4,6 e 12,5, respectivamente (SUPAPVANICH; TUCKER, 2011).

O valor do chroma (C^*) de 39,85 e o h^*_{ab} de 64,46, expostos na Tabela 5.1, estão de acordo com o valor esperado para a coloração laranja intensa em função da quantidade expressiva de β -caroteno encontrada para o fruto e estão dentro da faixa reportada por outros pesquisadores para melões de polpa alaranjada em geral (LESTER; SATFNER, 2008; SAFTNER et al., 2006; SAFTNER; LESTER, 2009).

5.1.1 Determinação dos carboidratos por CG

De forma geral, os principais constituintes da matéria seca dos melões são os açúcares simples, como glicose, frutose e sacarose (LESTER; SAFTNER, 2008). Como a quantificação dos carboidratos foi feita por CG-FID, foi necessária uma análise qualitativa de alguns açúcares, previamente à etapa de quantificação. Essa etapa consistiu na determinação dos tempos de retenção de cada padrão de carboidrato estudado, que estão apresentados na Figura 5.1.

Verificou-se que apenas a sacarose apresentou um único produto da reação de silanização e todos os demais carboidratos avaliados apresentaram mais de um produto. A silanização é, na verdade, uma reação de substituição nucleofílica do tipo SN₂, que forma ésteres trimetílicos a partir dos carbonos anoméricos. Nos carboidratos redutores, existem formas anoméricas em equilíbrio na solução, o que gera diferentes produtos a partir desta reação, uma vez que mais de um carbono é susceptível ao ataque nucleofílico, o que gera até cinco picos em determinadas hexoses, enquanto que os não redutores formam apenas um único pico por carboidrato, conforme verificado para a sacarose. Por isso, alguns autores sugerem que, para amostras contendo uma grande variedade de carboidratos (como o mel), é fundamental uma reação de oximação prévia à silanização, de modo a reduzir o número de picos no cromatograma, reduzindo a sua complexidade e melhorando sua resolução (DE LA FUENTE et al., 2011; ROJAS-ESCUADERO et al., 2004; RUIZ-MATUTE et al., 2011; SANZ; SANZ; MARTÍNEZ-CASTRO, 2004; SORIA; SANZ; VILLAMIEL, 2009).

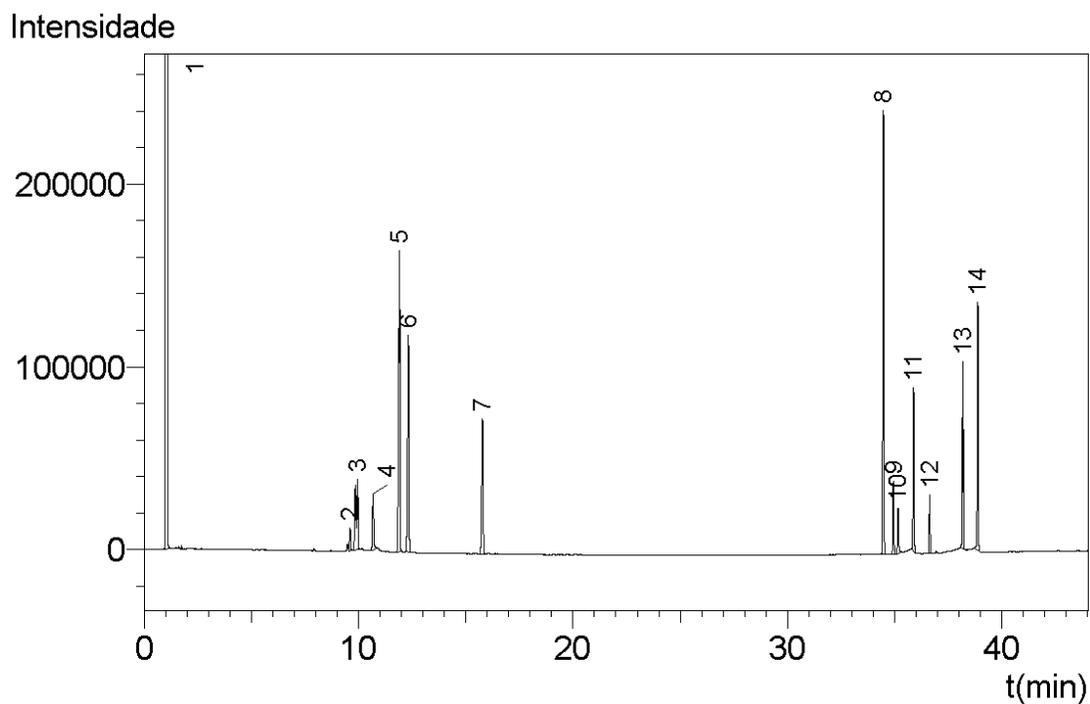


Figura 5.1 - Cromatograma dos produtos derivatizados dos padrões de carboidratos (1-solvente/hexano, 2-4: frutose, 5: padrão interno/metil-glicopiranosídeo; 6-7: glicose; 8: sacarose; 9-12: maltose; 13-14: isomaltose).

Notou-se, ainda, que dentre os açúcares redutores, a frutose apresentou três diferentes isômeros, a glicose e a isomaltose dois e a maltose quatro. Daniele e Casabianca (2012) propuseram uma metodologia para avaliar fraude por adição de xaropes em amostras de mel e encontraram o mesmo número de isômeros para a glicose e isomaltose. Contudo, os autores apresentaram apenas dois picos para a frutose e maltose. Conforme discutido anteriormente, em função do grande número de picos para amostras complexas, muitos autores apresentam apenas os picos com maiores áreas, de modo a simplificar os cromatogramas e as áreas dos demais picos são somadas às dos anteriores, durante a etapa quantitativa.

Para a determinação dos carboidratos nas amostras *in natura* e processadas e também nas soluções osmóticas, foi necessária a obtenção das curvas de calibração formadas por 10 pontos, para cada carboidrato (0,1 a 1,0 mg), apresentadas na Figura 5.2.

Na Tabela 5.2 são apresentadas as equações resultantes da aplicação da regressão linear aos resultados experimentais da análise dos açúcares por cromatografia gasosa. Pode-se verificar que, dentro da faixa estudada, os respectivos padrões de carboidratos apresentaram excelente linearidade e elevada precisão.

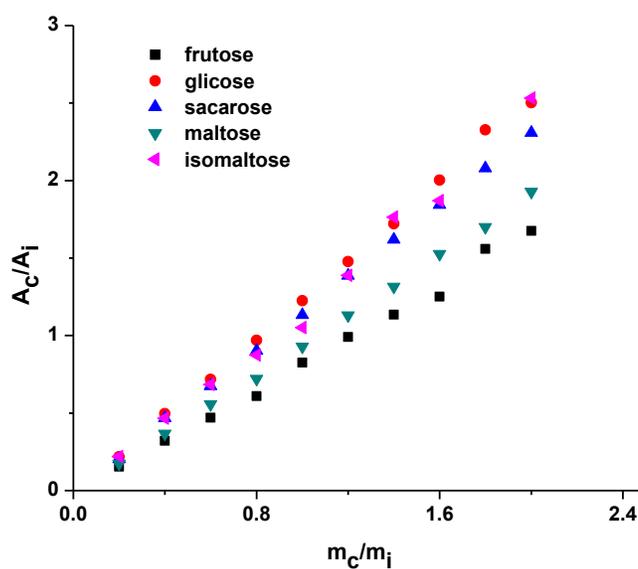


Figura 5.2 - Curvas de calibração para os diferentes carboidratos avaliados. (A =área do pico; m =massa utilizada para obtenção de cada pico; subscritos c e i são referentes a cada carboidrato e ao padrão interno, respectivamente).

Tabela 5.2 - Linearidade e precisão das curvas de calibração dos açúcares obtidas experimentalmente via cromatografia gasosa.

Padrão de carboidrato	Equação	R^2	$P(\%)$
Frutose	$Y = 0,849 X - 0,035$	0,995	3,9
Glicose	$Y = 1,282 X - 0,044$	0,998	1,8
Sacarose	$Y = 1,167 X - 0,021$	0,999	1,4
Maltose	$Y = 0,967 X - 0,030$	0,999	1,7
Isomaltose	$Y = 1,268 X - 0,090$	0,990	7,0

Y =razão de área entre o pico considerado e o padrão interno; X =razão entre as massas do analito e do padrão interno; P =desvio relativo médio (Eq. 4.25).

Na Figura 5.3 é apresentado um dos cromatogramas obtidos para o melão *orange flesh honeydew in natura*. Verificou-se apenas a presença dos picos relativos aos dois isômeros da frutose e glicose e à sacarose, que foi o açúcar majoritário (49,2%), seguido da frutose (30%) e da glicose (20,8%), conforme os dados apresentados na Tabela 5.1.

A mesma tendência foi observada por Lester (2008) e Beaulieu et al., (2003), para o mesmo tipo de melão. Contudo, estes estudos reportaram diferença entre os percentuais isolados de cada açúcar. Lester (2008) reportou que o melão apresentou 24% de glicose, 29% de frutose e 47% de sacarose, enquanto que Beaulieu et al. (2003) observaram que a sacarose representou 57% dos carboidratos, ao passo que a frutose e a glicose se encontravam em menores quantidades (23,7 e 19,6%, respectivamente) para a mesma variedade avaliada neste estudo.

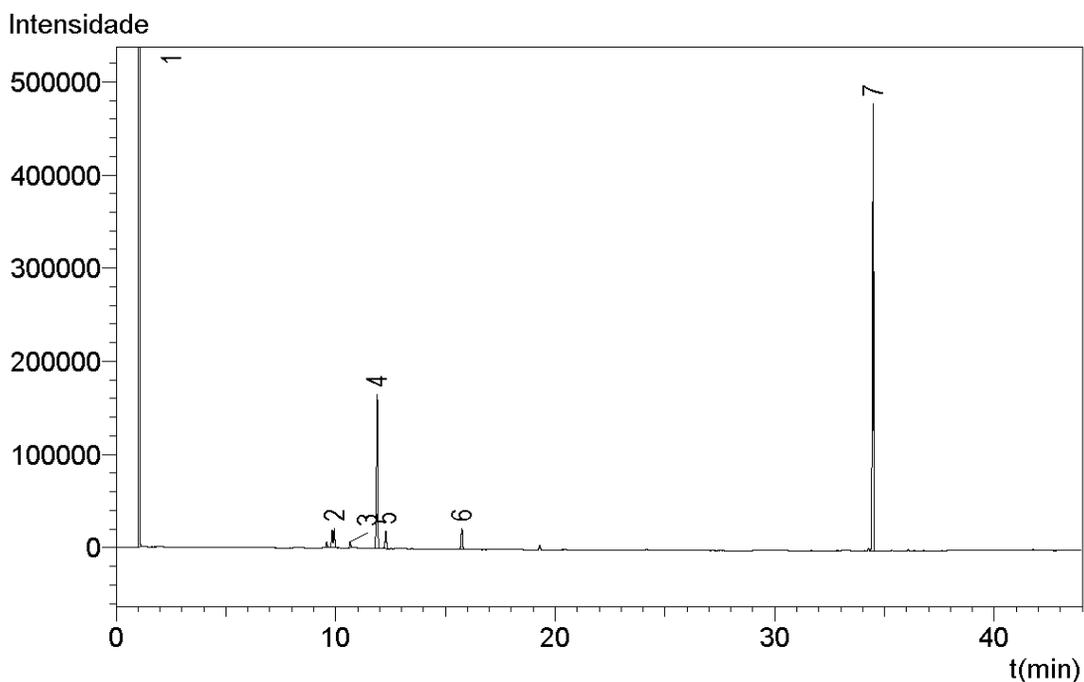


Figura 5.3 - Cromatograma de sacarose, frutose e glicose em melão *orange flesh honeydew in natura* (1 = hexano; 2-3 = frutose; 4 = padrão interno; 5-6 = glicose e 7 = sacarose).

O teor de açúcares totais no melão estudado foi de 765,3 mg por grama de amostra seca (Tabela 5.1), ligeiramente inferior ao reportado por Lester (2008) para o mesmo tipo de melão (847 mg/g) utilizando a metodologia de quantificação por HPLC-RI. Adicionalmente, o melão *Honeydew* apresentou aproximadamente 40% a mais de açúcares totais do que o observado por Lester, Jifon e Rogers (2005) para o tipo *cantaloupe*, de 499 a 594 mg/g (BS).

Devido ao seu elevado teor de sacarose, o melão estudado apresentou doçura relativa de 897,8 mg/g de sacarose equivalente (SE), valor intermediário aos obtidos por Lester, Jifon e Stewart (2007) e por Lester (2008), cujas médias foram de 850 mg/g e de 931,8 mg/g de SE para o mesmo tipo de melão, colhidos em épocas distintas. Adicionalmente, o valor de doçura do melão *orange flesh honeydew* foi aproximadamente 9 vezes maior do que o observado para o melão híbrido F1 que variou com o ano de colheita de 103 a 115 mg/g de sacarose equivalente (LESTER; SAFTNER, 2008).

5.1.2 Capacidade antioxidante

Os resultados da capacidade antioxidante (DPPH, FRAP e TPC) das amostras de melão *orange-fleshed honeydew*, expressos em termos de ácido ascórbico (AAE), Trolox® (TE) e ácido gálico equivalente (GAE) são apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Capacidade antioxidante (DPPH, FRAP) e teor de compostos fenólicos totais (TPC) dos extratos das amostras de melão *orange flesh honeydew*.

Capacidade Antioxidante Equivalente ($\mu\text{mol/g}$, BS)	DPPH *	FRAP *	TPC *
Ácido ascórbico equivalente (AAE)	3,03 \pm 0,13	12,11 \pm 0,70	16,40 \pm 0,21
Trolox® equivalente (TE)	2,11 \pm 0,14	20,00 \pm 1,24	56,98 \pm 0,80
Ácido gálico equivalente (GAE)	0,72 \pm 0,04	10,22 \pm 0,58	18,11 \pm 0,22

BS = em base seca; * media \pm desvio padrão.

Conforme tem sido amplamente discutido na literatura, os diferentes mecanismos de ação de cada método podem gerar resultados conflitantes e, por isso, mais de uma metodologia deve ser utilizada na investigação da real capacidade antioxidante de um alimento. No presente trabalho, dois métodos (DPPH e FRAP), baseados em diferentes mecanismos de ação, foram utilizados. Adicionalmente, é importante destacar que a determinação do teor de fenólicos totais (TPC, em inglês) pode também ser considerada um ensaio antioxidante, visto que o mesmo avalia uma ampla quantidade de compostos fenólicos (taninos, antocianinas, flavonoides, ácidos fenólicos, etc) e não fenólicos (proteínas, açúcares redutores, etc) capazes de reduzir íons metálicos. Além disso, já tem sido amplamente demonstrada uma forte correlação entre o teor desses compostos e a capacidade antioxidante dos alimentos (CARILLON et al., 2012; EVERETTE et al., 2010; MARTÍN-

SÁNCHEZ, 2014; RODRIGUEZ-AMAYA, 2010; ROMERO-DE SOTO et al., 2013).

É fundamental salientar a importância da solubilidade dos compostos antioxidantes em diferentes solventes, durante o processo de extração. Assim, a polaridade destes solventes desempenha grande influência sobre esse processo (ALOTHMAN; BHAT; KARIM, 2009). Tanto que, conforme foi observado em ensaios preliminares, boa parte dos compostos com atividade antioxidante foram extraídos em solventes polares, entretanto, pelo fato de os carotenoides não serem extraídos nestas condições, utilizaram-se soluções ternárias de água, álcool etílico e acetona. Nestes ensaios (resultados não apresentados), a concentração do extrato aquoso para se obter 50% da capacidade de seqüestro do radical DPPH (IC50) foi de 1,397 g de melão por mL de extrato aquoso. Lester e Hodges (2008) observaram que os extratos hidrofílicos deste mesmo melão apresentaram capacidade antioxidante cerca de 4 vezes maior do que os extratos lipofílicos.

Thaipong et al. (2006) avaliaram a capacidade antioxidante, teores de carotenoides, fenólicos e ácido ascórbico em extratos de goiabas usando metanol e diclorometano como solvente polar e apolar, respectivamente. Os resultados para o teor de fenólicos e carotenoides obtidos pelos autores ficaram abaixo dos obtidos no presente estudo, enquanto que o teor de ácido ascórbico foi superior nos extratos de goiaba.

Os resultados do ensaio de DPPH forneceram os menores valores de capacidade antioxidante em termos de todos os padrões utilizados. De maneira inversa, os ensaios de FRAP e TPC apresentaram um comportamento semelhante, sendo que o ensaio TPC apresentou os maiores valores de equivalentes de todos os padrões de antioxidante utilizados.

Kenny et al. (2013), avaliando as propriedades antioxidantes de melão de São Caetano (*bitter melon*), usando diferentes condições e métodos de extração, também observaram os maiores valores da capacidade antioxidante nos ensaios de FRAP em relação aos obtidos por DPPH.

Wolbang et al. (2010) também avaliaram a capacidade antioxidante de outras variedades de melões de polpa alaranjada, utilizando o método de FRAP, e obtiveram valores

próximos aos apresentados no presente trabalho, enquanto que Lester e Hodges (2008) obtiveram valores mais baixos de teor de compostos fenólicos (TPC) para a mesma variedade de melão do presente trabalho e para melões rendilhados.

Estas observações podem ser explicadas em função das diferenças nas metodologias de extração utilizadas nos diferentes trabalhos (tipo e concentração de solvente, tempos e temperatura de extração, etc), que desempenham um papel fundamental na quantificação desses compostos. Além disso, os diferentes mecanismos de ação antioxidante podem privilegiar determinados compostos em detrimento de outros fitoquímicos, visto que cada ensaio está baseado nestes mesmos mecanismos de ação. O método DPPH, por exemplo, baseia-se na capacidade dos fitoquímicos presentes no extrato analisado de sequestrar o radical DPPH*, descolorindo a solução de DPPH* (roxo para incolor). Por sua vez, o ensaio de FRAP avalia a capacidade do extrato em reduzir um complexo férrico de tripiridiltriazina, enquanto que o ensaio de TPC possui uma reação de oxidação/redução como mecanismo básico de ação, podendo também ser considerado um método de análise da capacidade antioxidante (KRISHNAIAH; SARBATLY; NITHYANANDAM, 2011; RODRIGUES-AMAYA, 2010).

No presente estudo, as amostras avaliadas se apresentaram como um fonte pobre de compostos antioxidantes devido aos baixos valores de capacidade antioxidante em termos de DPPH; todavia apresentaram uma considerável atividade antioxidante em relação aos métodos de FRAP e TPC. É importante ter em mente que os extratos destas mesmas amostras apresentaram elevada concentração de carotenoides totais, cujo mecanismo de ação é quelar o oxigênio singleto, evitando a formação deste tipo de oxigênio altamente reativo. Rodriguez-Amaya (2010) ressalta que os métodos tradicionais, inclusive FRAP e TPC, têm subestimado a capacidade antioxidante de alimentos ricos em carotenoides, como foi observado no presente estudo. A autora destaca ainda que a capacidade antioxidante dos alimentos é devida à vários componentes naturais com diferentes modos de ação, incluindo quebra de radical livre, sequestro do radical oxigênio, quelação de metais e de oxigênio singleto, além da inibição oxidativa de enzimas. Desta forma, todo método utilizado se limita a um grupo específico de compostos. E a grande maioria dos ensaios empregados atualmente

está baseada na capacidade de sequestrar radical livre, que é o principal modo de ação dos compostos fenólicos, isto pode explicar o porquê destes fitoquímicos serem considerados os maiores responsáveis pela capacidade antioxidante dos alimentos.

Romero-de Soto et al. (2013) afirmaram que cada tipo de vegetal apresenta uma diferente capacidade antioxidante em função da contribuição de diferentes compostos, como α -tocoferol, β -caroteno, vitamina C, selênio ou compostos fenólicos. Além do mais, há uma grande variação da concentração e composição destes devido ao clima e outras condições de cultivo.

5.2 Caracterização das soluções osmóticas empregadas

O efeito dos diferentes agentes osmóticos sobre os fluxos de massa durante a desidratação osmótica tem sido alvo de diversos trabalhos nos últimos anos. As condições necessárias para haver a transferência de massa nesse processo residem justamente nas propriedades da solução, que determinam as propriedades da película do fluido sobre a superfície sólida, controlando a velocidade da transferência de massa neste processo.

Assim, tanto o perfil dos carboidratos presentes, determinará a atividade de água e a viscosidade da solução, além do tipo de interação com a parede celular dos alimentos processados.

5.2.1 Perfil de carboidratos das soluções

Na Figura 5.4 são apresentados os cromatogramas relativos aos perfis de carboidratos dos agentes osmóticos utilizados (MORREX 1940® e sacarose comercial). O xarope de milho empregado no presente estudo em termos quantitativos, consistiu basicamente numa mistura de glicose e maltose. Embora a literatura afirme que os xaropes

de glicose obtidos a partir da hidrólise do amido de milho contenham ainda isomaltose e outros polissacarídeos, os mesmos não foram observados dentro do limite de detecção do método empregado. Por sua vez, o açúcar comercial (UNIÃO®) também não apresentou quantidades significativas de frutose e glicose, sendo composto basicamente por sacarose.

5.2.2 Viscosidade e atividade de água das soluções

Na Tabela 5.4 são apresentados os resultados das atividades de água e das viscosidades das soluções osmóticas empregadas. Em função da grande quantidade de estudos encontrados na literatura sobre a viscosidade das soluções de sacarose, os dados apresentados foram retirados da circular do Departamento de Comércio dos Estados Unidos da América (SWINDELLS et al., 1958).

Ainda, conforme apresentado na Tabela 5.4, foi possível avaliar o efeito dos diferentes solutos na desidratação osmótica dos melões tipo *orange flesh honeydew*, um vez que, para cada condição experimental definida a partir do planejamento fatorial empregado, tem-se o mesmo potencial de transferência de massa; ou seja, mesma atividade de água da solução, permitindo, portanto, analisar os demais efeitos como a massa molecular e interações físicas e químicas dos solutos com a matriz celular. Notou-se, ainda, que as soluções de xarope de milho apresentaram maior viscosidade, quando comparadas às soluções de sacarose, numa mesma atividade de água.

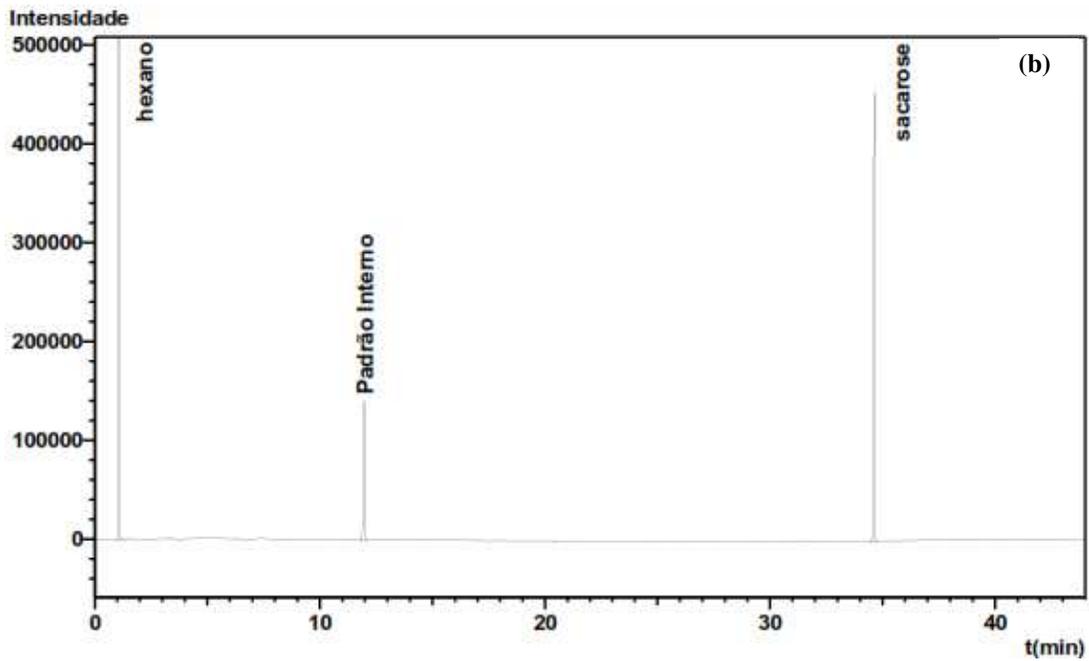
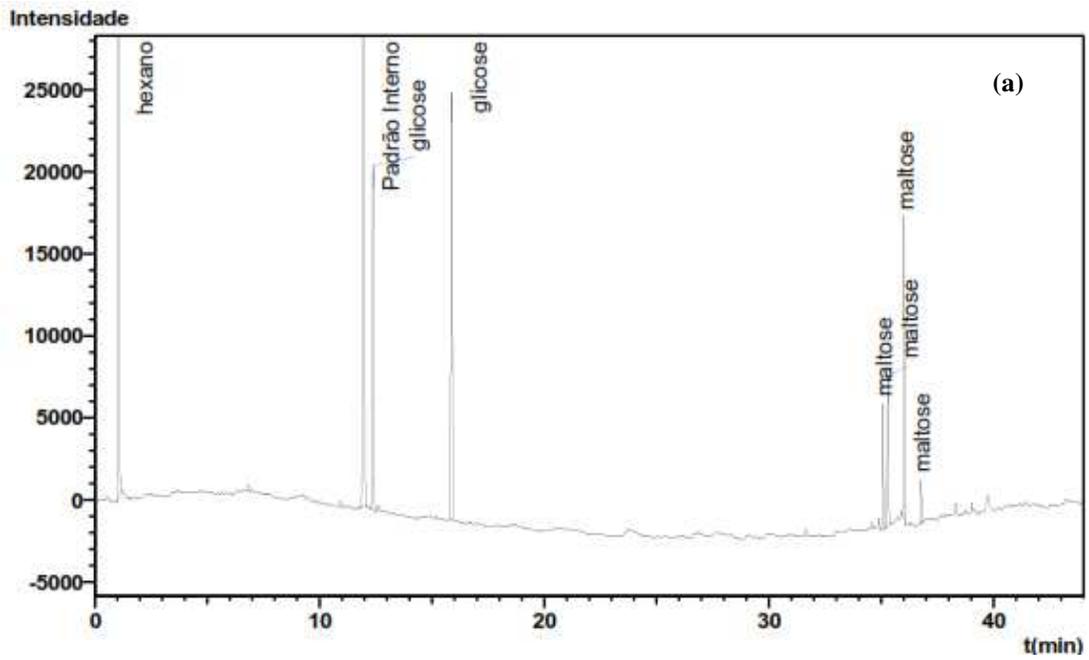


Figura 5.4 - Perfil dos mono e dissacarídeos presentes no xarope de milho (a) e na sacarose comercial (b) utilizados como agentes osmóticos.

Tabela 5.4 - Atividade de água (a_w) e viscosidade (μ) das soluções de sacarose e xarope de milho empregadas na desidratação osmótica de melões *orange flesh honeydew*.

Sacarose			Xarope de milho (40DE)		
Condição	a_w	μ^a (mPa.s)	Condição	a_w	μ^b (mPa.s)
S1	0,9706±0,0006	2,98	XM1	0,9742±0,0008	4,79±0,18
S2	0,9259±0,0005	15,20	XM2	0,9270±0,0007	83,64±2,22
S3	0,9726±0,0002	2,04	XM3	0,9754±0,0007	3,69±0,07
S4	0,9286±0,0001	8,73	XM4	0,9283±0,0003	43,00±1,07
S5	0,9529±0,0002	4,64	XM5	0,9574±0,0007	13,49±0,86
S6	0,9530±0,0004	4,64	XM6	0,9575±0,0009	13,86±0,19
S7	0,9530±0,0004	4,64	XM7	0,9575±0,0009	13,67±0,46
S8	0,9762±0,0003	1,97	XM8	0,9806±0,0002	2,92±0,06
S9	0,9515±0,0007	6,52	XM9	0,9562±0,0004	19,87±0,83
S10	0,9081±0,0002	17,83	XM10	0,9094±0,0006	115,36±9,83
S11	0,9528±0,0001	3,45	XM11	0,9564±0,0002	12,14±0,38

^a = dados retirados de Swindells et al. (1958); ^b = valores (\pm desvio padrão) obtidos no presente estudo; S e XM são as condições de temperatura e concentração das soluções osmóticas de sacarose e xarope de milho, respectivamente, definidas na Tabela 4.1.

No interior do tecido vegetal, há uma estrutura heterogênea bastante complexa, composta por uma fase líquida em contato com uma quantidade considerável de organelas celulares. Nesse sistema ocorre, naturalmente, um intenso transporte intracelular vital. Este espaço intracelular é limitado por uma membrana plasmática semi-permeável, que o isola dos espaços intercelulares. Desta forma, nota-se que a resistência interna à transferência de massa, representada pela difusividade efetiva, é uma soma das diversas resistências que cada uma dessas sub regiões desempenha no processo de transferência de massa e alterações na sua viscosidade, devidas à penetração de diferentes solutos, podem trazer reflexos aos mecanismos internos que governam os fluxos de massa durante o processo de desidratação osmótica (CHANG; LIN; KUO, 2008; ZIMMERMANN; MINTON, 1993).

5.2.2.1 Curvas reológicas das soluções aquosas de xarope de milho

Conforme discutido anteriormente, a viscosidade da solução é uma das propriedades mais importantes na desidratação osmótica, alterando a mobilidade das espécies (água e sólidos) e, conseqüentemente, as propriedades de transporte.

Apesar das curvas reológicas de todas as condições experimentais utilizando xarope de milho (Tabela 4.1) terem sido obtidas, nas Figuras 5.5a e 5.5b são apresentadas apenas algumas destas curvas, visando observar o efeito da temperatura e da concentração de sólidos, respectivamente. Verificou-se que as soluções não apresentaram tixotropia e os valores dos índices de consistência foram próximos à unidade, indicando que as soluções de xarope de milho, nas condições estudadas, apresentaram comportamento Newtoniano, dentro da faixa estudada.

A temperatura afetou a viscosidade das soluções de xarope de milho de forma inversamente proporcional (Figura 5.5a). Desta forma, pode-se afirmar que o aumento da temperatura diminuiu a resistência externa à transferência de massa.

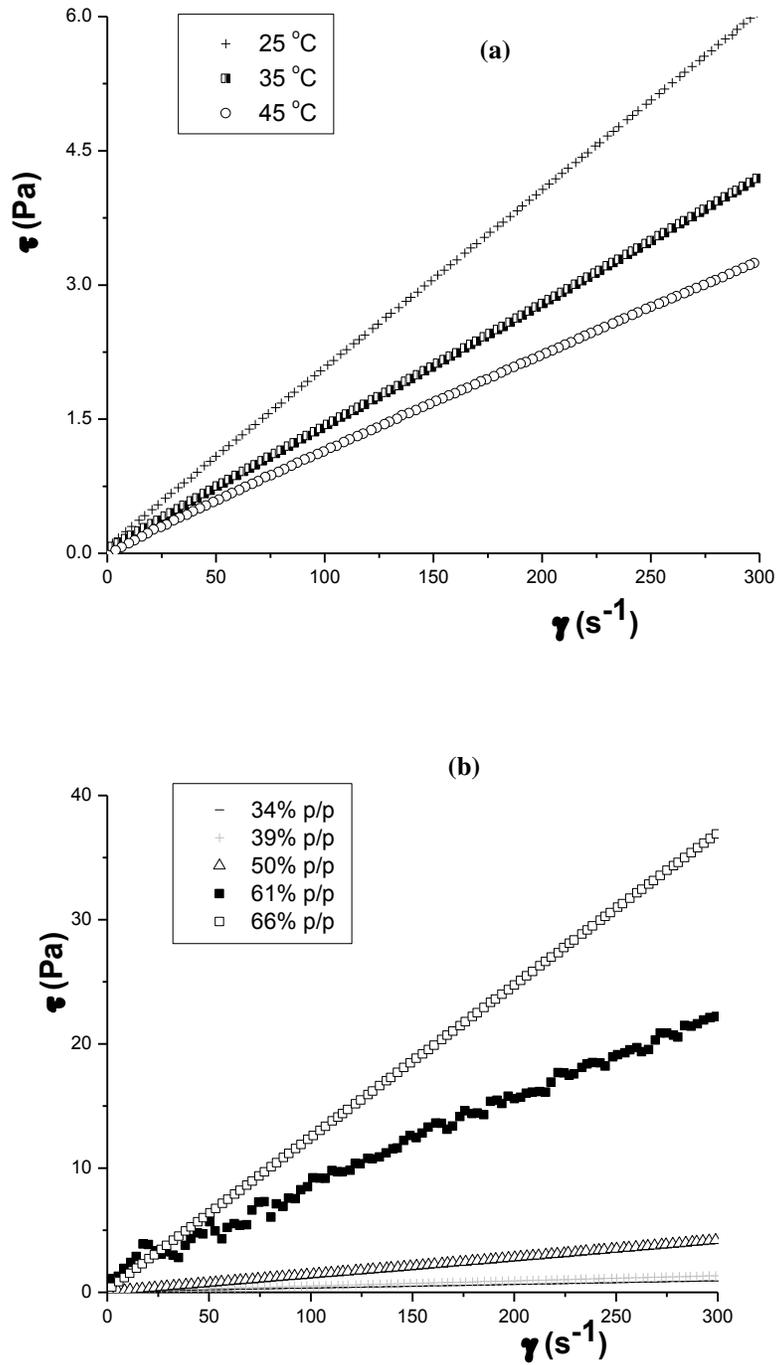


Figura 5.5 - Curvas reológicas das soluções aquosas de xarope de milho (50% p/p) em diferentes temperaturas (25 a 45 °C) (a) e a 35 °C em diferentes concentrações (34 a 66% p/p) (b). τ = tensão de cisalhamento; $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação.

Em soluções com elevada viscosidade, a transferência de massa na interface (sólido-líquido) é reduzida, uma vez que há alteração dos gradientes de concentração nessa região, elevando a espessura da camada limite, de modo a limitar os fluxos de massa. Nesses casos, é necessário o emprego de maiores níveis de agitação que, apesar de aumentar os custos operacionais, auxiliam na diminuição desta resistência externa, maximizando o potencial de transferência de massa (BOHUON et al., 1998; CHENLO et al., 2002).

Schiraldi, Signorelli e Fessas (2013) estudaram a interação entre a atividade de água e a viscosidade de soluções eletrolíticas e não eletrolíticas como a frutose, glicose e sacarose. Os autores verificaram desvios de comportamento em situações em que a viscosidade do sistema não seguiu um padrão isotrópico em relação à concentração, o que é típico em sistemas contendo açúcares.

Bohuon et al. (1998) utilizaram um sistema fechado com controle de temperatura (10 °C) e agitação de (0 a 146 rad.s⁻¹), consistindo num prato rotatório contendo amostras de géis imersos em soluções ternárias (sacarose-cloreto de sódio), de modo a se avaliar o efeito de diluição na interface entre o gel e a solução. Os autores mostraram que a agitação favoreceu o processo de desidratação e apresentou pouco efeito na impregnação de sal e de açúcar. Além da concentração dos solutos, a viscosidade da solução também foi influenciada por suas massas moleculares, ou seja: quanto maior a massa molecular, maior a viscosidade de uma solução a uma mesma concentração molal (mol.kg⁻¹).

Verificou-se ainda que a 35 °C a viscosidade obtida a 34% de sólidos pouco diferiu da obtida a 39% (Figura 5.5b). Quando se observam os valores de viscosidade das soluções de sacarose apresentados na Tabela 5.4, verificou-se este mesmo comportamento. Isso ilustra que nessa faixa de concentração, a hipótese de que há pouca variação na resistência externa à transferência de massa durante a desidratação osmótica é válida, uma vez que não há variação significativa no valor da viscosidade da solução desidratante.

Vários outros estudos sugerem que a diminuição no ganho de sólidos verificado quando se substitui a sacarose por xarope de milho, deve-se ao aumento da viscosidade da

solução desidratante (DJELVEH; GROS; EMAM-DJOMEH, 2001; EMAM-DJOMEH et al., 1996; EMAM-DJOMEH; DJELVEH; GROS, 2001; SANTCHURN; COLLIGNAN; TRYSTRAM, 2007).

5.2.2.2 Efeito da temperatura e da concentração sobre a viscosidade e atividade de água das soluções osmóticas

Na Tabela 5.5 são apresentados os resultados da análise estatística aplicada aos valores das viscosidades e atividades de água das soluções de sacarose e xarope de milho, admitindo-se um intervalo de confiança de 95%, ou seja: um nível de significância de 5% ($p < 0,05$), utilizando-se a soma quadrática dos resíduos. Para alguns parâmetros, em função de sua relevância no fenômeno, foi admitido até 8% de significância ($p < 0,08$).

Notou-se que a temperatura não apresentou efeito significativo sobre a atividade de água para ambos os solutos e que a concentração afetou estatisticamente o potencial de transferência de massa do processo. Embora os coeficientes quadráticos tenham sido estatisticamente significativos, para ambos os solutos, representam apenas parâmetros de ajustes dos modelos, não apresentando um sentido físico ao fenômeno observado. Para a viscosidade, ambas as variáveis foram estatisticamente significativas e apresentaram interação entre si, contudo o coeficiente quadrático da temperatura não foi estatisticamente significativo para esta resposta, considerando 8% de significância estatística (Tabela 5.5).

Verificou-se ainda que as viscosidades das soluções de xarope de milho e de sacarose apresentaram comportamento bastante similar frente à temperatura e concentração dos respectivos agentes osmóticos, apesar dos valores nas soluções do primeiro agente terem sido maiores do que aqueles observados para as soluções de sacarose. Conforme discutido anteriormente, a massa molecular média do xarope de milho é muito maior do que a da sacarose, o que explicaria os maiores valores de viscosidade encontrados para o primeiro soluto em condições com mesmo potencial de transferência.

Tabela 5.5 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para a atividade de água (a_w) e viscosidade (μ) em função da temperatura (T) e concentração (C) das soluções osmóticas de sacarose e de xarope de milho.

Sacarose				
	a_w		μ (Pa.s)	
Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	p-valor	Coeficientes de Regressão	p-valor
<i>Média</i>	0,9530	0,00	4,64	0,00
<i>C</i>	-0,0232	0,00	5,18	0,00
<i>C²</i>	-0,0049	0,00	2,59	0,00
<i>T</i>	0,0008*	0,29	-1,47	0,00
<i>T²</i>	0,0002*	0,84	0,12*	0,74
<i>C.T</i>	0,0002*	0,86	-1,38	0,02
Parâmetros estatísticos				
F_{calc}/F_{tab}	204,9		32,2	
P(%)	0,6		9,6	
R²	0,9956		0,9895	
Xarope de milho				
	a_w		μ	
Fonte de Variação	Coeficientes de Regressão	p-valor	Coeficientes de Regressão	p-valor
<i>Média</i>	0,9575	0,00	13,69	0,04
<i>C</i>	-0,0244	0,00	34,69	0,00
<i>C²</i>	-0,0061	0,44	21,87	0,00
<i>T</i>	0,0003*	1,00	-6,60	0,08**
<i>T²</i>	-0,0004*	0,50	0,18*	0,96
<i>C.T</i>	0,0000*	1,00	-9,89	0,07**
Parâmetros estatísticos				
F_{calc}/F_{tab}	641,5		54,9	
P(%)	0,7		42,6	
R²	0,9986		0,9734	

* não significativo a 5% de significância ($p > 0,05$); ** $p < 0,08$; P: desvio relativo médio; R²: coeficiente de determinação

Após a análise estatística, nas Figuras 5.6a e 5.6b são apresentados os modelos preditivos, cujos coeficientes são mostrados na Tabela 5.5, para a viscosidade das soluções osmóticas de sacarose e xarope de milho, respectivamente, onde se verifica que os maiores valores da viscosidade foram obtidos nas condições de maior concentração e menor temperatura, em que os efeitos viscosos são mais importantes. E em menores concentrações, a temperatura não apresentou efeito significativo sobre a viscosidade, em ambos os solutos, e a tendência de efeito positivo sugerido a baixas concentrações, pode ser atribuído à falta de ajuste do modelo quadrático.

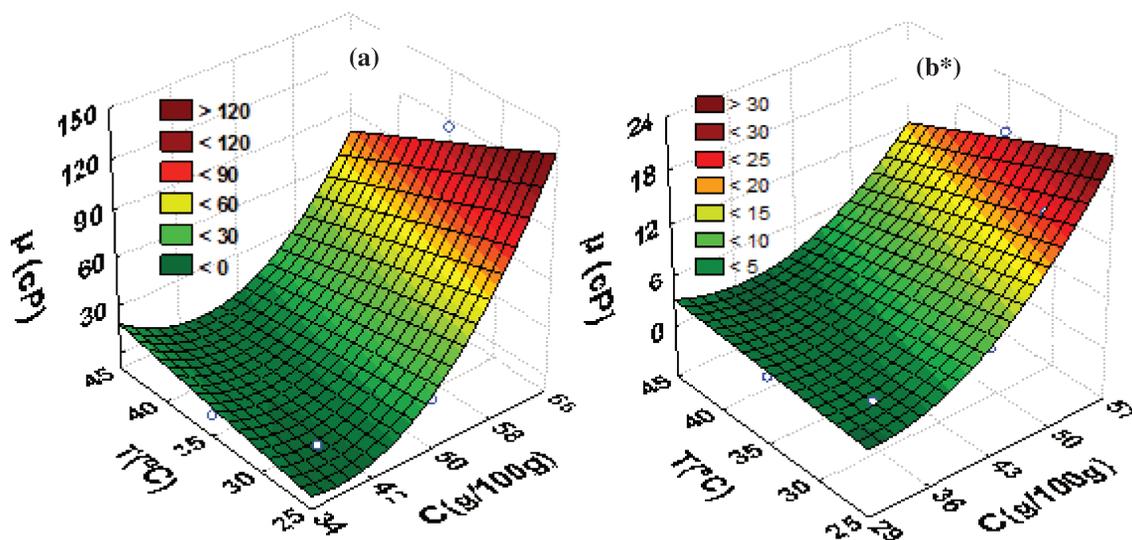


Figura 5.6 - Influência da temperatura e concentração sobre a viscosidade das soluções osmóticas de xarope de milho (a) e sacarose (b). * dados experimentais de SWINDELL et al. (1958).

5.3 Desidratação osmótica

Os dados experimentais das cinéticas de perda de água e de ganho de sólidos durante a desidratação osmótica de melão tipo *honeydew orange flesh* em soluções de sacarose e de xarope de milho nas condições estabelecidas no delineamento experimental são apresentados nas Figuras 5.7 a 5.11. A análise dessas figuras demonstrou que a perda de água verificada foi muito mais intensa do que o ganho de sólidos em todas as condições estudadas, caracterizando-o como um processo de desidratação, em detrimento à impregnação.

5.3.1 Efeito das variáveis do processo

5.3.1.1 Tipo de soluto

Observou-se que o tipo de soluto empregado apresentou grande influência no ganho de sólidos e pouca relevância na perda de água, o que fica mais evidente quando se comparam todos os dados de perda de água e ganho de sólidos em função dos agentes osmóticos empregados no presente estudo (Figura 5.7).

Conforme discutido anteriormente, a natureza física e química dos solutos empregados desempenha papel fundamental durante a transferência de massa. A composição dos carboidratos encontrada nas soluções de xarope de milho e de sacarose (Figura 5.4) leva a diferentes viscosidades (Tabela 5.4) e interações microscópicas entre o material vegetal e o soluto durante o processamento osmótico. Essas interações são mais pronunciadas durante a entrada de solutos do que na saída de água. Assim, apesar das soluções apresentarem a mesma atividade de água, o emprego de diferentes solutos com maior massa molecular média e que aumentem a viscosidade das soluções, acarretou numa menor taxa de impregnação e exerceu menor influência sobre as taxas de perda de água, durante o processo de desidratação osmótica de melão *orange flesh honeydew*.

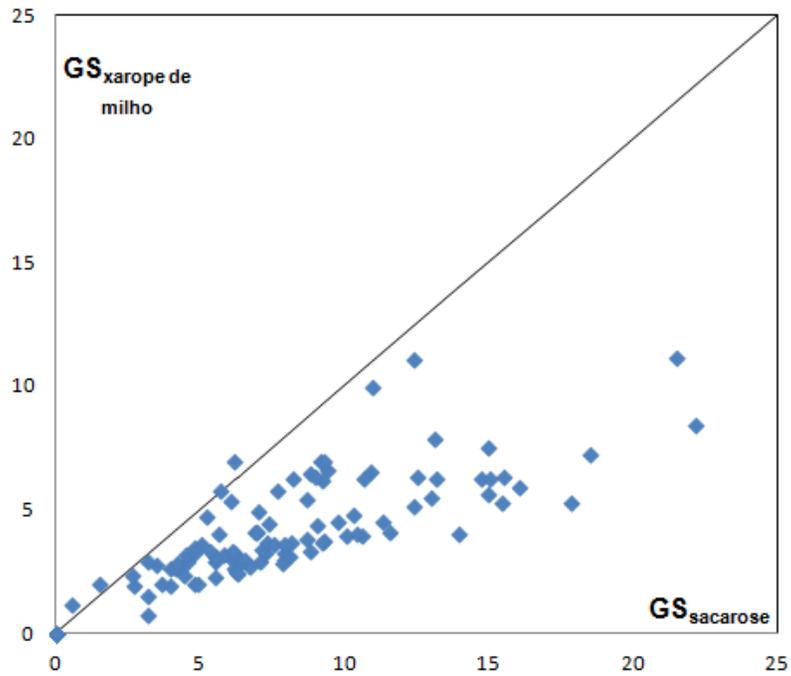
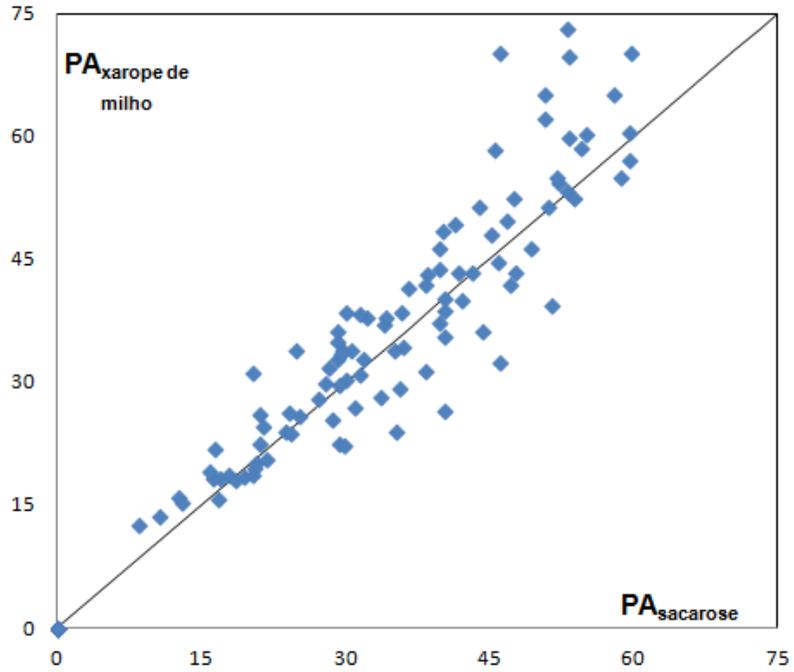


Figura 5.7 - Perdas de água (PA, % p/p) e ganhos de sólidos (GS, % p/p) obtidos experimentalmente em soluções de sacarose e xarope de milho em diversas condições de concentração e temperatura da solução. Cada ponto foi obtido numa mesma atividade de água e tempo de processo.

A taxa de penetração de diferentes solutos é inversamente proporcional à sua massa molecular de cada um desses agentes osmóticos, assim frutas submetidas à desidratação osmótica em soluções de xarope de milho (alto teor de maltose, isomaltose, etc) apresentarão menor incorporação de sólidos em relação àquelas desidratadas em soluções de sacarose, por exemplo, numa mesma atividade de água (LENART; LEWICKI, 1987; LERICI et al., 1985; NIETO et al., 2013).

5.3.1.2 Concentração da solução

Nas Figuras 5.8 a 5.10 é mostrada a influência da concentração na cinética da desidratação osmótica de melões *orange flesh honeydew*. De modo geral, verificou-se que o aumento da concentração promoveu a elevação das taxas de perda de água para ambos os solutos, assim como a taxa de ganho de sólidos nas soluções de sacarose (Figuras 5.8 a 5.10). Entretanto, ao se utilizar xarope de milho como agente osmótico, pôde-se verificar que a baixas temperaturas (28 °C), a concentração da solução não apresentou efeito sobre a cinética de ganho de sólidos (Figura 5.8). Contudo, à medida que se elevou a temperatura da solução, o efeito de sua concentração na cinética de ganho de sólidos passou a ser significativa (Figuras 5.9 e 5.10).

Conforme discutido anteriormente, é importante frisar que as concentrações de sacarose e de xarope de milho foram comparadas de modo a fornecerem soluções com mesma atividade de água. Desse modo, a atividade de água demonstrou não ser a única variável que controla o ganho de sólidos; e os menores valores verificados nas soluções de xarope de milho podem ser explicados pela sua maior viscosidade em comparação às de sacarose e pela maior massa molecular, que dificulta sua penetração no alimento.

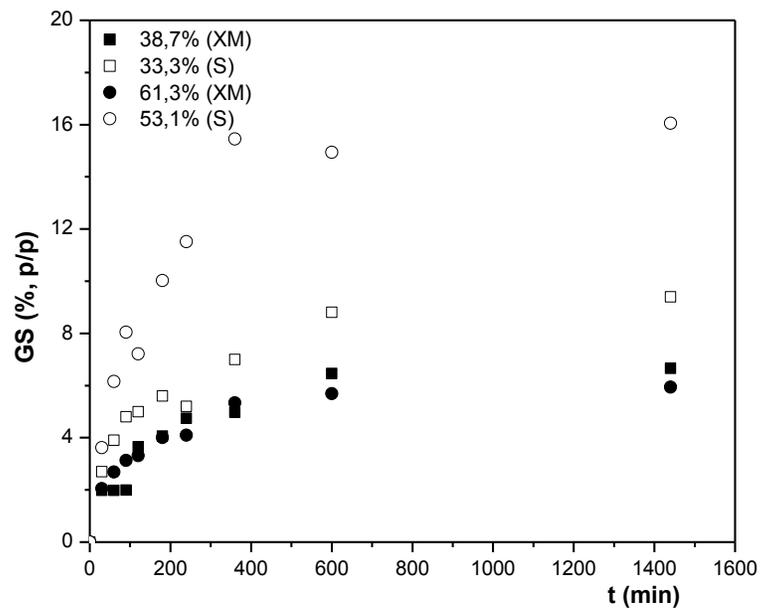
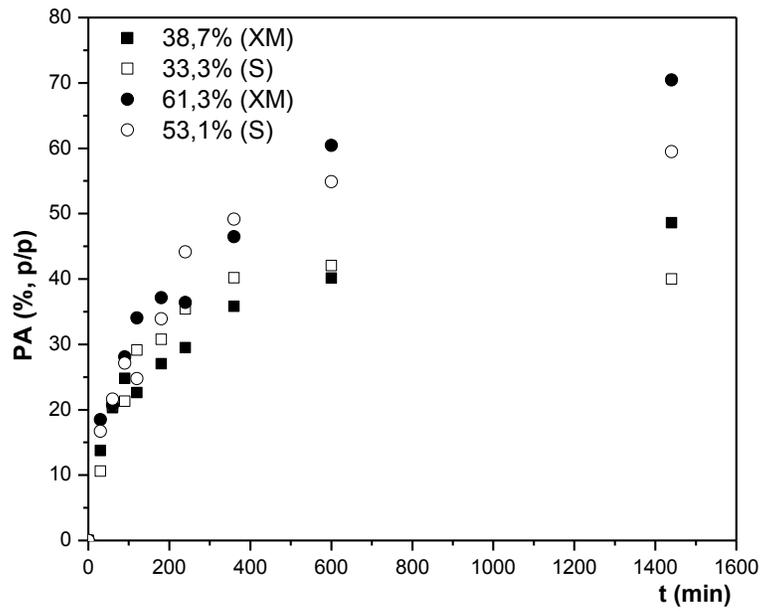


Figura 5.8 - Cinéticas de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) obtidos experimentalmente em diferentes concentrações de sacarose (S) e xarope de milho (XM) a 28 °C.

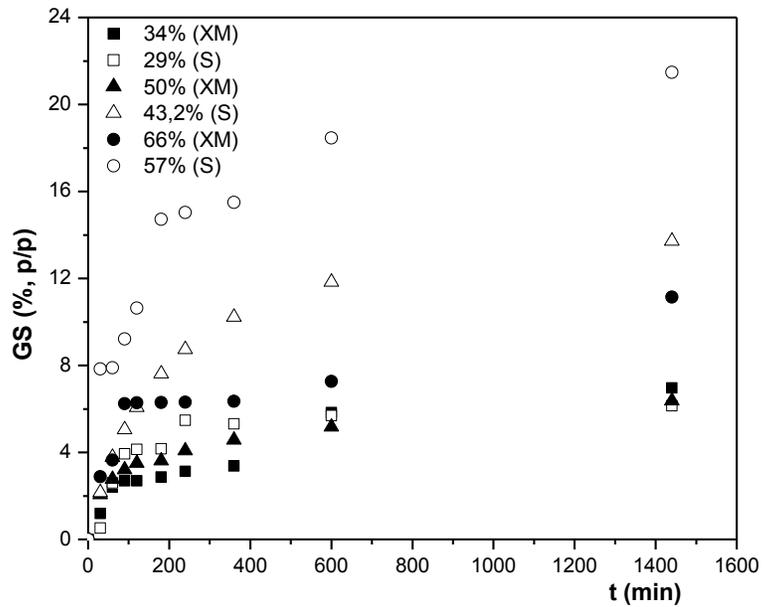
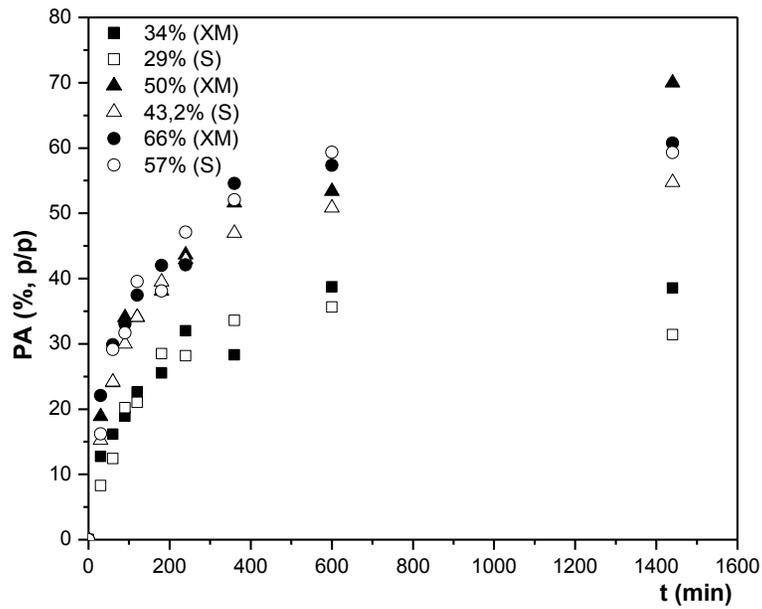


Figura 5.9 - Cinéticas de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) obtidos experimentalmente em diferentes concentrações de sacarose (S) e xarope de milho (XM) a 35 °C.

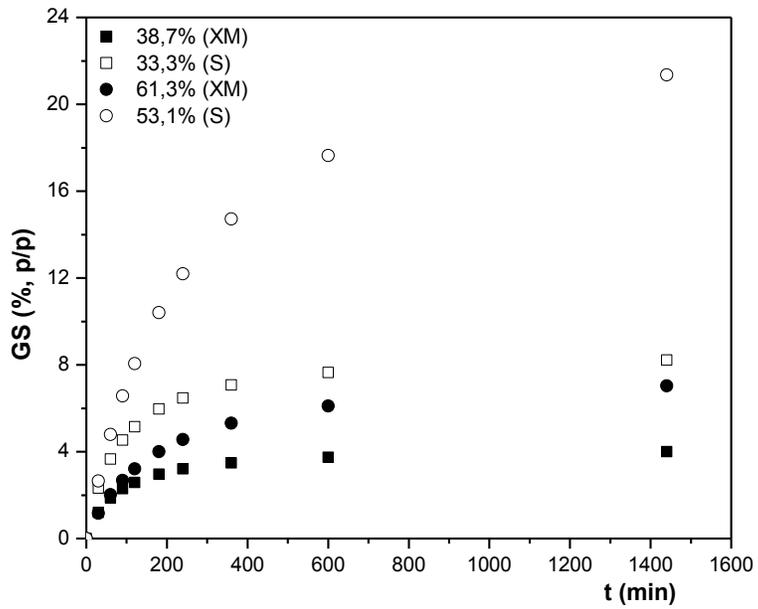
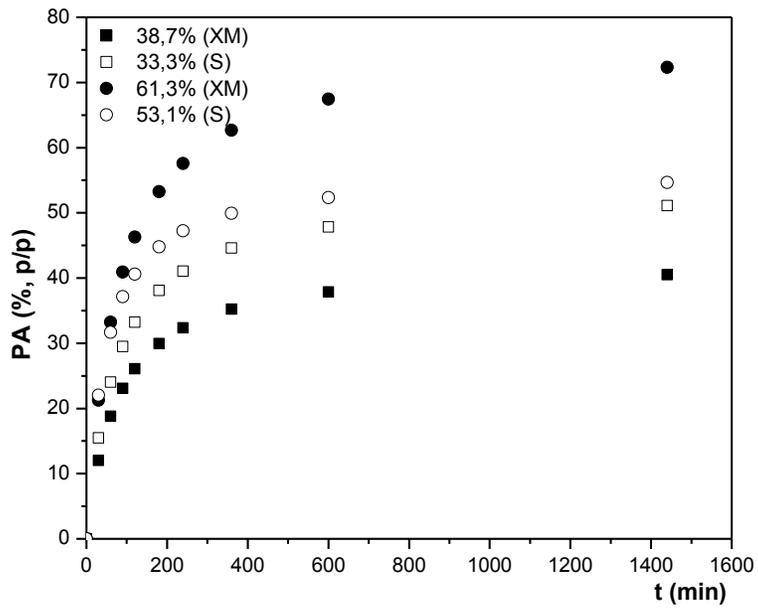


Figura 5.10 - Cinéticas de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) obtidos experimentalmente em diferentes concentrações de sacarose (S) e xarope de milho (XM) a 42 °C.

A baixas temperaturas, diferentemente das soluções de sacarose, a concentração de xarope de milho não influenciou significativamente as taxas de ganho de sólidos. Isto se deveu, além da maior viscosidade, à composição dos carboidratos dessas soluções, o que confere uma resistência à entrada de sólidos nas amostras estudadas, suficiente para contrabalançar o efeito do aumento da atividade de água, que em temperaturas mais elevadas é suficiente para gerar maiores taxas de impregnação nas amostras de melão estudadas.

5.3.1.3 Temperatura da solução

O efeito da temperatura da solução nas cinéticas de perda de água e de ganho de sólidos está apresentado na Figura 5.11, na qual se verifica uma maior influência da temperatura nas cinéticas em que se utilizou xarope de milho como agente desidratante, sobretudo nas taxas de perda de água.

Campos et al. (2012) observaram que a temperatura (23 a 57 °C) influenciou positivamente tanto a perda de água quanto o ganho de sólidos. Entretanto, os autores verificaram também interação entre a temperatura e a concentração da solução. A baixas temperaturas, o aumento causado na viscosidade em função da elevação da concentração de sacarose, reduziu a taxa de perda de água e não apresentou o mesmo efeito sobre o ganho de sólidos.

Erickson, Berntsen e Eliason (1966) avaliaram o efeito de diferentes valores de dextrose equivalente (DE), concentrações (20 a 85%p/p) e temperaturas (15 a 80 °C) sobre a viscosidade de soluções de xarope de milho. Para valores de DE similares ao do presente estudo, concluíram que a viscosidade das soluções sofreu uma influência exponencial positiva em relação à concentração da solução, similar ao verificado no presente estudo. O efeito da temperatura, por sua vez, foi negativo e mais pronunciado nas soluções mais concentradas. Esta observação também foi feita por Galmarini et al. (2011), ao avaliarem a influência da temperatura sobre a viscosidade de soluções de sacarose e por Campos et al. (2012) ao desidratarem osmoticamente carambola em soluções de sacarose.

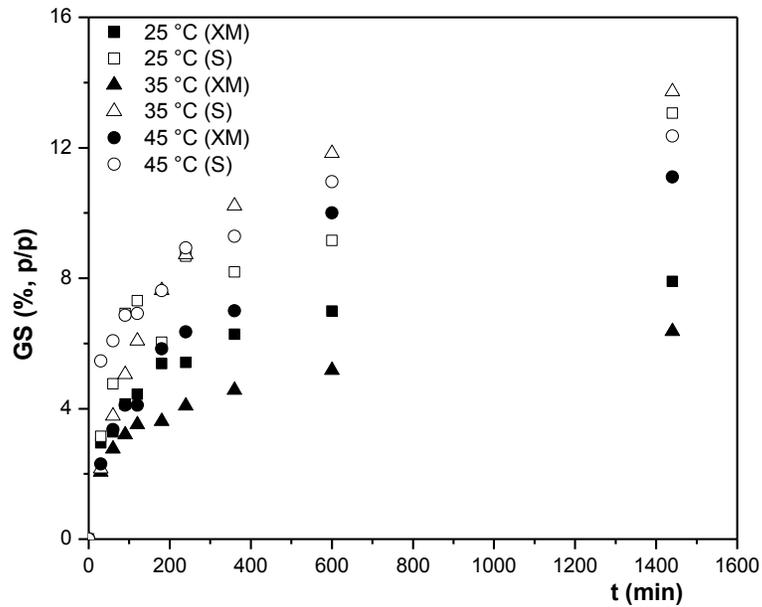
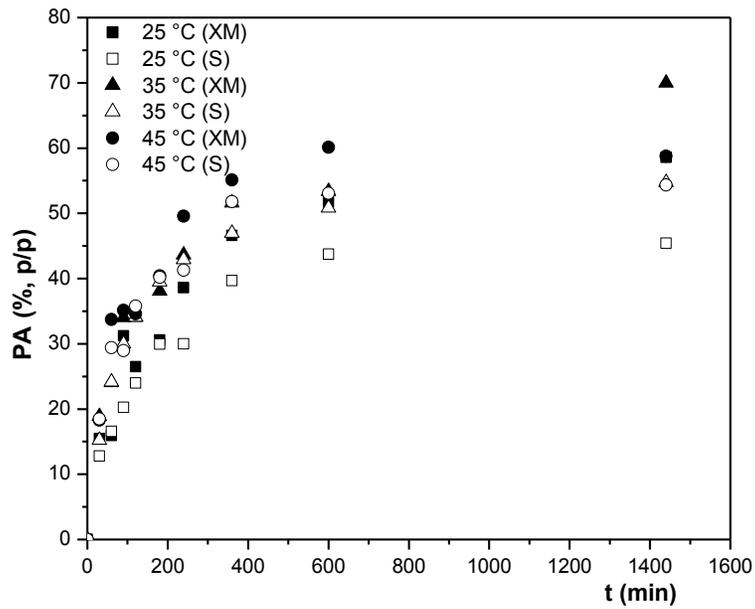


Figura 5.11 - Cinéticas de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) obtidos experimentalmente em diferentes temperaturas e a 43,2% (p/p) de sacarose (S) e 50% (p/p) de xarope de milho (XM).

Desta maneira, numa mesma concentração, os valores da viscosidade das soluções de xarope de milho são mais elevadas do que os da sacarose, fazendo com que o efeito da temperatura seja mais evidenciado nas soluções contendo xarope de milho. Entretanto, é importante ressaltar que temperaturas elevadas agem também sobre o tecido celular, promovendo a dilatação da membrana celular e o amolecimento dos tecidos, alterando irreversivelmente a resistência interna à transferência de massa. É por isso que o aumento da temperatura altera as taxas de perda de água e de ganho de sólidos de forma distinta (LENART, 1996; PONTING et al., 1966).

5.3.2 Cinéticas de PA e GS nas condições estabelecidas nos pontos centrais

Nas Tabelas 5.6 e 5.7 são apresentados os dados experimentais das cinéticas de perda de água e de ganho de sólidos obtidos nos pontos centrais, em soluções de sacarose e de xarope de milho, respectivamente.

Os pontos obtidos num dado instante foram comparados ao longo de toda a cinética com o intuito de se verificar a reprodutibilidade do processo. Os valores foram similares aos obtidos por Khoyi e Hesari (2007) desidratando damascos, por Rodrigues e Fernandes (2007) desidratando maçãs e por El-Aouar et al. (2006) trabalhando com mamão formosa em condições semelhantes às do presente estudo.

Tabela 5.6 - Comparação entre as médias de perda de água (PA) e de ganho de sólidos (GS) obtidas experimentalmente durante a desidratação osmótica em solução de sacarose nas condições estabelecidas no ponto central (S5, S6 E S7).

tempo(min)	PA (g/100 g)			GS (g/100 g)		
	S5*	S6*	S7*	S5*	S6*	S7*
30	15,79±1,62 ^a	17,67±0,64 ^a	19,29±1,81 ^a	4,38±1,06 ^a	3,47±1,18 ^a	4,88±0,56 ^a
60	28,94±2,69 ^a	23,58±2,68 ^a	24,16±3,02 ^a	4,53±1,20 ^a	4,76±1,74 ^a	6,65±0,83 ^a
90	27,70±3,01 ^a	30,52±1,24 ^a	31,34±3,85 ^a	5,78±0,98 ^a	1,67±0,22 ^b	7,06±2,06 ^a
120	25,14±1,52 ^b	35,00±2,01 ^a	29,48±2,74 ^b	7,85±1,38 ^a	4,45±0,15 ^b	6,26±0,67 ^{a, b}
180	32,04±2,51 ^a	34,07±5,49 ^a	40,24±1,67 ^a	8,09±0,59 ^a	10,40±2,36 ^a	7,88±0,96 ^a
240	38,29±0,49 ^a	41,53±3,55 ^a	43,02±1,56 ^a	9,18±0,81 ^a	7,50±0,85 ^a	9,01±1,38 ^a
360	45,09±3,54 ^a	50,98±2,10 ^a	46,64±4,13 ^a	10,88±0,93 ^a	12,47±0,92 ^a	10,30±1,41 ^a
600	47,40±3,70 ^a	50,05±2,35 ^a	53,58±4,02 ^a	11,73±2,41 ^a	11,03±0,79 ^a	13,14±2,74 ^a
1440	50,55±4,51 ^a	53,09±1,21 ^a	57,86±2,04 ^a	14,96±2,33 ^a	10,87±0,93 ^b	12,94±1,06 ^{a, b}

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem entre si para $p < 0,05$. *Triplícatas realizadas no ponto central (43,2% p/p e 35 °C) utilizando sacarose como agente osmótico.

Tabela 5.7 - Comparação entre as médias de perda de água (PA) e de ganho de sólidos (GS) obtidas experimentalmente durante a desidratação osmótica em solução de xarope de milho nas condições estabelecidas no ponto central (X5, X6 e X7).

tempo(min)	PA (g/100 g)			GS (g/100 g)		
	X5*	X6*	X7*	X5*	X6*	X7*
30	19,37±0,35 ^a	18,87±1,39 ^a	18,61±0,34 ^a	2,38±1,19 ^a	2,06±0,87 ^a	2,01±1,61 ^a
60	26,06±1,88 ^a	24,05±3,16 ^a	23,83±1,42 ^a	3,70±1,00 ^a	2,77±0,27 ^a	2,69±2,08 ^a
90	29,96±3,07 ^a	34,05±1,04 ^a	31,17±2,67 ^a	2,94±1,05 ^a	3,20±2,66 ^a	2,45±0,82 ^a
120	32,93±2,41 ^a	34,10±3,28 ^a	34,02±0,64 ^a	3,27±0,81 ^a	3,51±1,11 ^a	2,94±1,19 ^a
180	38,13±2,95 ^a	38,10±0,30 ^a	38,88±0,79 ^a	3,72±0,92 ^a	3,62±1,95 ^a	4,40±0,62 ^a
240	43,28±0,39 ^a	43,66±2,20 ^a	43,55±0,40 ^a	4,57±0,47 ^a	4,08±1,74 ^a	2,97±1,60 ^a
360	48,28±0,72 ^a	51,60±2,24 ^a	49,94±2,92 ^a	3,18±0,63 ^a	4,57±1,01 ^a	4,82±2,19 ^a
600	52,66±2,42 ^a	53,40±0,51 ^a	52,66±0,29 ^a	6,55±0,43 ^a	5,18±0,39 ^a	5,55±2,38 ^a
1440	62,45±2,58 ^b	69,97±0,75 ^a	65,24±3,55 ^b	7,57±0,93 ^a	6,37±0,28 ^b	6,28±2,38 ^b

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem entre si para $p < 0,05$. *Triplícatas realizadas no ponto central (50% p/p e 35 °C) utilizando xarope de milho como agente osmótico.

Nos ensaios utilizando-se sacarose como agente desidratante, a análise estatística dos valores de perda de água (PA) obtidos nas condições experimentais das três replicatas (S5, S6 e S7) do ponto central (Tabela 5.6) demonstrou que, ao longo de todo o processo, somente o tempo de 120 minutos da replicata S6 diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) das demais (S5 e S7). Os demais instantes dos experimentos não apresentaram diferença significativa entre si, indicando a reprodutibilidade do processo, visto que as condições S5, S6 e S7 são os pontos centrais do delineamento experimental proposto (Tabela 4.1). Em relação ao ganho de sólidos (Tabela 5.6), verificou-se que apenas nos pontos obtidos nos tempos de 90, 120 e 1440 minutos do experimento S6 houve diferença significativa de uma média para as demais. Contudo, para os pontos obtidos nos demais instantes, não houve diferença significativa entre as médias.

De maneira análoga, quando se utilizou o xarope de milho como agente osmótico, os resultados obtidos demonstraram que os experimentos realizados nos pontos centrais não diferiram estatisticamente entre si, tanto para a perda de água (PA), quanto para o ganho de sólidos (GS). Apenas no tempo de 1440 minutos, houve diferença estatística entre a maior média e as demais para PA e GS (Tabela 5.7).

Normalmente os desvios encontrados para o ganho de sólidos são maiores do que aqueles obtidos para a perda de água, quando se utiliza o método gravimétrico para a quantificação dessas respostas (KHOYI; HESARI, 2007; PARK et al., 2002; RODRIGUES; FERNANDES, 2007), já que o fluxo de sólidos solúveis do alimento para a solução, que pode ser quantitativamente significativo em determinadas condições, não é quantificado neste método, podendo ser comparável ao ganho de sólidos, mas desprezível em relação à perda de água.

5.3.2.1 Modelamento matemático da cinética de desidratação osmótica

Os dados experimentais das cinéticas de desidratação foram modelados matematicamente, de acordo com os itens 4.2.3.3 e 3.2.2.3.

5.3.2.1.1 Modelo de Peleg

Nas Tabelas 5.8 e 5.9 são apresentados os parâmetros do modelo de Peleg, obtidos a partir da regressão não linear dos dados experimentais da perda de água e do ganho de sólidos, respectivamente, durante a desidratação osmótica de melão tipo *honeydew orange flesh* em soluções de sacarose e xarope de milho.

As faixas desses parâmetros apresentaram pequenas variações em relação às obtidas por outros autores, trabalhando em condições semelhantes e diferentes produtos como pêra (PARK et al., 2002) e goiaba (GANJLOO et al., 2012).

Em todas as condições estudadas para a perda de água, para ambos os agentes osmóticos, os valores dos coeficientes de determinação (R^2) ficaram próximos à unidade e os desvios relativos médios (P) abaixo de 10%, exceto a 28 °C e 61,3% (p/p) de xarope de milho (Tabela 5.8), na qual foi detectado um desvio pontual elevado, que contribuiu para que o valor de P fosse superior ao critério utilizado.

Tabela 5.8 - Valores dos parâmetros do modelo de Peleg ($K_{1,w}$ e $K_{2,w}$), dos coeficientes de determinação (R^2) e dos desvios relativos médios (P) para a perda de água, obtidos a partir dos dados experimentais da desidratação osmótica de melão orange em soluções de sacarose e xarope de milho.

T(°C)	Sacarose					Xarope de milho				
	C(%p/p)*	$K_{1,w}$ **	$K_{2,w}$ ***	R^2	P(%)	C(%p/p)*	$K_{1,w}$ **	$K_{2,w}$ ***	R^2	P(%)
28	33,3	105,5	0,021	0,977	6,7	38,7	136,8	0,020	0,957	10,0
28	53,1	126,0	0,015	0,974	8,7	61,3	137,2	0,013	0,961	10,4
42	33,3	82,74	0,018	0,975	5,8	38,7	107,3	0,023	0,945	8,5
42	53,1	49,81	0,017	0,934	5,9	61,3	61,12	0,013	0,970	6,7
35	43,2	95,17	0,018	0,981	5,5	50	93,8	0,015	0,982	5,8
35	43,2	92,97	0,017	0,976	5,5	50	102,5	0,014	0,967	7,7
35	43,2	91,08	0,016	0,982	5,4	50	98,92	0,015	0,983	5,3
35	29,2	137,6	0,026	0,956	9,2	34	137,9	0,024	0,964	6,8
25	43,2	148,5	0,019	0,984	5,6	50	135,8	0,015	0,965	10,0
35	57,1	80,44	0,015	0,983	4,3	66	72,16	0,016	0,976	6,1
45	43,2	74,88	0,017	0,981	5,2	50	70,12	0,015	0,971	5,7

*Condições dispostas na mesma linha representam mesma temperatura e atividade de água da solução para concentrações e tipos dos agentes osmóticos utilizado;

** $100 \text{ g amostra} \cdot \text{s} / \text{gH}_2\text{O}$; *** $100 \text{ g amostra} / \text{gH}_2\text{O}$.

Ainda de acordo com a Tabela 5.8, verificou-se que os valores obtidos para a perda de água dos parâmetros do modelo de Peleg, em condições semelhantes para os diferentes agentes osmóticos, foram próximos entre si. É importante frisar que as condições apresentadas na mesma linha, apesar da diferença de concentração entre os solutos, foram assim determinadas de modo a produzirem soluções com mesma atividade de água e, conseqüentemente, mesmo potencial de transferência de massa. Isso explica a proximidade entre os valores de $K_{1,w}$ obtidos para os dois diferentes solutos. Conforme salientaram Schmidt, Carciofi e Laurindo (2009), o recíproco deste parâmetro representa a taxa inicial de desidratação, que é proporcional ao potencial de transferência de massa deste processo.

Tabela 5.9 - Valores dos parâmetros do modelo de Peleg ($K_{1,s}$ e $K_{2,s}$), dos coeficientes de determinação (R^2) e dos desvios relativos médios (P) para o ganho de sólidos, obtidos a partir dos dados experimentais da desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de sacarose e xarope de milho.

T(°C)	Sacarose					Xarope de milho				
	C(%p/p)*	$K_{1,s}$ **	$K_{2,s}$ ***	R^2	P(%)	C(%p/p)*	$K_{1,s}$ **	$K_{2,s}$ ***	R^2	P(%)
28	33,3	693,0	0,103	0,947	9,9	38,7	1227,6	0,132	0,960	11,3
28	53,1	426,2	0,054	0,968	6,6	61,3	863,27	0,158	0,975	6,5
42	33,3	570,4	0,115	0,973	7,1	38,7	1075,2	0,237	0,961	11,9
42	53,1	608,0	0,039	0,953	12,9	61,3	1328,3	0,126	0,840	18,5
35	43,2	533,6	0,068	0,948	9,2	50	1128,7	0,128	0,903	11,0
35	43,2	470,5	0,064	0,958	14,1	50	1167,5	0,146	0,956	8,1
35	43,2	407,4	0,063	0,950	9,6	50	1207,8	0,150	0,952	10,0
35	29,2	813,5	0,148	0,947	27,1	34	2029,9	0,128	0,910	18,3
25	43,2	486,9	0,083	0,902	11,3	50	624,98	0,126	0,975	5,3
35	57,1	286,2	0,045	0,959	8,1	66	520,75	0,104	0,864	12,6
45	43,2	319,0	0,085	0,938	8,6	50	1010,9	0,079	0,976	9,6

*Condições dispostas na mesma linha representam mesma temperatura e atividade de água da solução para concentrações e tipos dos agentes osmóticos utilizado;

** $100 \text{ g amostra} \cdot S / \text{g soluto}$, *** $100 \text{ g amostra} / \text{g soluto}$.

Entretanto, para o ganho de sólidos (Tabela 5.9), valores dos parâmetros $K_{1,s}$ e $K_{2,s}$ obtidos para a sacarose foram menores do que aqueles obtidos para as soluções de xarope de milho.

O modelo demonstrou que tanto a taxa inicial de impregnação ($1/K_{1,s}$), quanto o valor do ganho de sólidos no equilíbrio ($1/K_{2,s}$) preditos pelo modelo de Peleg foram maiores ao se utilizar soluções de sacarose. Isto está de acordo com o observado experimentalmente, em que as soluções de sacarose apresentaram maiores ganhos de sólidos do que as de xarope de milho, conforme pode ser verificado nas Figuras 5.8 a 5.11. Lazarides, Katsanidis e Nickolaidis (1995) sugeriram que a menor incorporação dos solutos está relacionada com a massa molecular do soluto empregado, que afeta a seletividade da membrana.

Notou-se ainda que as taxas de perda de água foram mais elevadas do que as do ganho de sólidos, para ambos os agentes desidratantes, comprovando que, nas condições estudadas, o processo de desidratação foi mais intenso do que o de impregnação, conforme discutido anteriormente. Diversos autores verificaram este mesmo comportamento durante a desidratação osmótica de outras frutas e hortaliças em diferentes condições de processo (BARBOSA JUNIOR; MANCINI; HUBINGER, 2013; EL-AOUAR, 2005; FERRARI et al., 2005; KHOYI; HESARI, 2007; LAZARIDES; KATSANIDIS; NICKOLAIDIS, 1995; LENART, 1996; RAOULT-WACK, 1994).

Salvatori e Alzamora (2000) e Nieto et al. (2004) afirmaram que a incorporação de solutos é inversamente proporcional à viscosidade da solução, que interfere em menor grau na perda de água. Como as soluções de xarope de milho apresentam maiores viscosidades (ERICKSON; BERNTSEN; ELIASON, 1966; GALMARINI et al. 2011) e massa molecular do que as de sacarose, ambos os efeitos podem explicar os resultados obtidos neste estudo.

Nas Figuras 5.12 e 5.13 são mostrados os ajustes do modelo aos dados experimentais de acordo com os pontos centrais, utilizando sacarose (43,2% p/p e 35 °C) e xarope de milho (50% p/p e 35 °C) como agentes desidratantes, respectivamente. É possível verificar ainda que, para ambos os agentes osmóticos, o ganho de sólidos atinge o equilíbrio antes da perda de água. Raoult-Wack (1994) relatou que a impregnação do produto ocorre superficialmente, formando uma película de soluto ao redor do alimento, o chamado efeito *candying*. Isto inibe o processo de impregnação de forma mais intensa do que o processo de desidratação, uma vez que esta película atua da mesma maneira que um filtro.

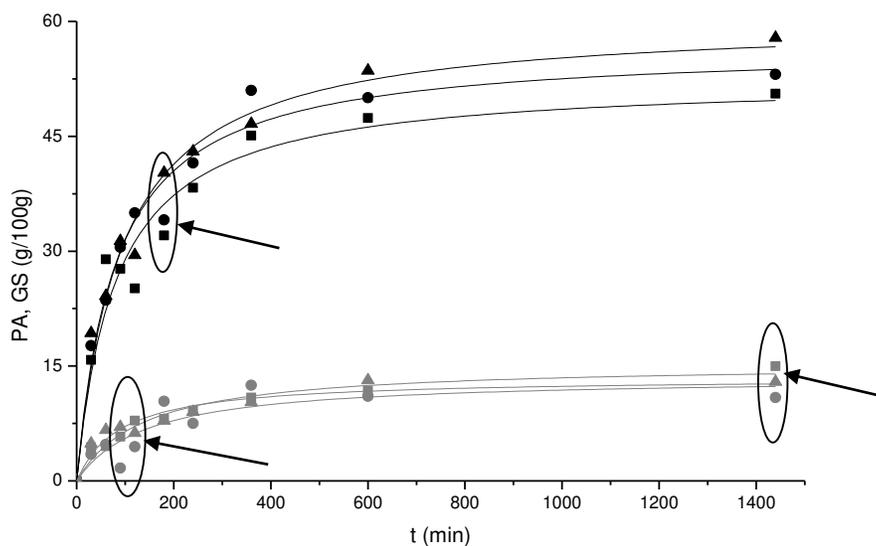


Figura 5.12 - Modelo de Peleg e dados experimentais da Cinética de **PA (cor preta)** e **GS (cor cinza)** nas condições S5(■), S6(●) e S7(▲) (43,2% p/p e 35 °C) em soluções de sacarose (as setas e círculos destacam os instantes em que houve diferença estatística significativa entre as triplicatas).

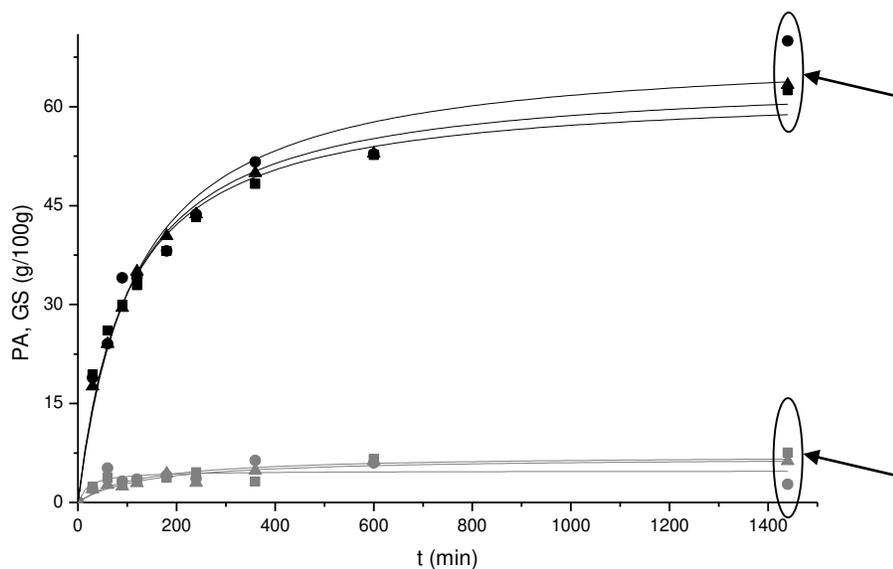


Figura 5.13 - Modelo de Peleg e dados experimentais da Cinética de **PA (cor preta)** e **GS (cor cinza)** nas condições X5(■), X6(●) e X7(▲) (50% p/p e 35 °C) em soluções de xarope de milho (as setas e círculos destacam os instantes em que houve diferença estatística significativa entre as triplicatas).

Para o ganho de sólidos, é importante ressaltar que nos experimentos em que a sacarose foi utilizada, o modelo ajustou-se melhor aos dados experimentais do que naqueles em que o xarope de milho foi o agente desidratante. Isso acontece porque o xarope de milho é uma mistura de oligossacarídeos com diferentes tamanhos moleculares e a entrada dos solutos é regulada pela membrana celular em função desse critério. Assim, a transferência de massa desses oligossacarídeos poderá apresentar uma pequena aleatorização, como foi verificado no ganho de sólidos em soluções de xarope de milho. Isso explica os desvios relativos mais elevados, obtidos nessas circunstâncias.

5.3.2.1.2 Modelo difusional

Os parâmetros do modelo difusional (Eq. 3.4) obtidos a partir dos dados experimentais de perda de água e de ganho de sólidos utilizando sacarose e xarope de milho como agentes desidratantes, encontram-se na Tabela 5.10.

Verificou-se que, de maneira geral, os valores das difusividades de água obtidas para sacarose foram maiores do que as obtidas utilizando-se xarope de milho. Entretanto, as difusividades de sólidos apresentaram maiores valores nas soluções de xarope de milho, em sete condições, enquanto que em seis outras condições, as maiores difusividades foram observadas nas soluções de sacarose (Tabela 5.10).

Observou-se ainda que o modelo demonstrou uma razoável dispersão dos resultados, apresentando valores de coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,81 até próximo à unidade. Contudo, os desvios relativos médios obtidos foram, em sua maioria, acima dos 10% recomendados por Lomauro, Bakshi e Labuza (1985) como um limite aceitável para ser um modelo preditivo.

Tabela 5.10 - Parâmetros do modelo difusional obtidos a partir dos dados experimentais de perda de água (PA) e de ganho de sólidos (GS) durante a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de sacarose e de xarope de milho.

<i>Sacarose</i>								<i>Xarope de milho</i>							
PA					GS			PA				GS			
T (°C)	C (%p/p)	$D_{ef}x$ $10^{10}(m^2/s)$	R ²	P(%)	$D_{ef}x$ $10^{10}(m^2/s)$	R ²	P(%)	C (%p/p)	$D_{ef}x$ $10^{10}(m^2/s)$	R ²	P(%)	$D_{ef}x$ $10^{10}(m^2/s)$	R ²	P(%)	
28	33,3	2,243	0,9828	13,5	1,018	0,8741	31,8	38,7	1,539	0,9545	15,1	1,192	0,9699	8,8	
28	53,1	1,110	0,9685	10,8	1,050	0,9304	23,2	61,3	0,961	0,9738	7,3	2,067	0,9734	15,4	
42	33,3	2,384	0,9773	18,2	2,157	0,9503	21,6	38,7	2,029	0,9338	18,2	2,347	0,9344	26,7	
42	53,1	3,102	0,9166	61,5	0,707	0,9735	4,3	61,3	2,093	0,9648	15,8	0,775	0,8693	15,7	
35	43,2	2,194	0,9712	18,2	1,287	0,9414	14,4	50	1,725	0,9704	13,8	1,129	0,9352	11,6	
35	43,2	2,140	0,9775	15,8	1,108	0,9538	13,5	50	1,083	0,9180	18,8	1,902	0,9383	22,3	
35	43,2	1,941	0,9736	16,3	1,859	0,9560	15,2	50	1,596	0,9689	12,6	1,116	0,9529	11,6	
35	29,2	2,041	0,9786	14,6	2,106	0,9157	27,1	34	1,784	0,9613	13,5	0,721	0,9437	9,6	
25	43,2	1,041	0,9380	21,5	1,693	0,8715	27,1	50	1,243	0,9683	9,7	2,082	0,9606	19,3	
35	57,1	2,152	0,9736	17,7	1,672	0,9523	16,1	66	2,215	0,9658	17,2	1,890	0,8134	31,8	
45	43,2	2,214	0,9718	17,3	2,456	0,9132	26,6	50	2,151	0,9682	13,0	0,779	0,9803	7,6	

T: temperatura da solução; C: concentração da solução; D_{ef} : difusividade efetiva; R²: coeficiente de determinação; P: desvio relativo médio.

Ochoa-Martinez, Ramaswamy e Ayala-Aponte (2007) ao compararem diferentes modelos empíricos com o modelo difusional, encontraram para esse último, valores de desvio relativo médio de 12,3% e de 18,4% para a perda de água e para o ganho de sólidos, respectivamente, concluindo que foi este o modelo com a maior dispersão dos resultados (menores valores de R^2).

A menor capacidade de ajuste do modelo de Fick tem sido reportada por diversos autores na literatura (AZOUBEL; MURR, 2004; BARBOSA JUNIOR; MANCINI; HUBINGER, 2013; OCHOA-MARTINEZ; RAMASWAMY; AYALA-APONTE, 2007; PARK et al., 2002; SCHMIDT; CARCIOFI; LAURINDO, 2009). Salvatori et al. (1999) sugeriram que, apesar de possuir base fenomenológica, as considerações envolvidas durante a resolução matemática do modelo difusional podem não ser totalmente satisfeitas durante o processo osmótico, o que explicaria a menor capacidade de ajuste deste modelo em relação aos modelos empíricos usados para descrever a cinética da desidratação osmótica de alimentos.

Kaymak-Ertekin e Sultanoğlu (2000), desidratando osmoticamente maçãs em soluções de sacarose (40 a 66% p/p) e dextrose (30 a 50% p/p) de 20 a 50 °C de temperatura, obtiveram valores de difusividade efetiva variando de 10^{-11} a $10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Telis, Murari e Yamashita (2004), trabalhando com desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias de NaCl e sacarose, encontraram valores de difusividade efetiva de água e sacarose da ordem de $10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Estes resultados foram similares aos obtidos por Rastogi e Raghavarao (1997), trabalhando com cenoura.

Ferrari e Hubinger (2008), desidratando osmoticamente cubos de melão amarelo com 20 mm de aresta, obtiveram, para a perda de água, valores de difusividade variando de $3,93 \times 10^{-9}$ a $4,40 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e de $5,67 \times 10^{-9}$ a $6,45 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ em soluções de sacarose e maltose, respectivamente. Obtiveram ainda as faixas de $1,35 \times 10^{-9}$ a $3,14 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e $7,60 \times 10^{-10}$ a $2,01 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para o ganho de sólidos.

Rastogi e Raghavarao (2004), desidratando osmoticamente cubos de melão, obtiveram valores de difusividade efetiva considerando perfis de concentração de água e

sacarose na mesma ordem de grandeza, $10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Park et al. (2002) obtiveram valores de difusividade efetiva de água e sólidos em cubos de pêra variando de $1,99 \times 10^{-10}$ a $3,60 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. El-Aouar (2005) obteve, para fatias com 5 mm de espessura de mamão formosa, difusividades variando de $3,87 \times 10^{-10}$ a $9,52 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Observou-se ainda que, os valores de difusividade da água foram os maiores nas condições com maior atividade de água (Tabela 4.1) e com temperatura elevada. Todavia, os menores valores de difusividade foram verificados nas maiores concentrações (53,1% de sacarose e 61,3% de xarope de milho) e menores temperaturas (28 °C). Para a difusividade dos sólidos, por sua vez, foi verificado que os maiores valores foram obtidos nas condições com maiores temperaturas (45 °C e 43,2% sacarose e 42 °C e 33,1 % xarope de milho) para os agentes osmóticos (Tabela 5.10).

A difusão é um fenômeno dependente da temperatura. Altas temperaturas alteram irreversivelmente a membrana celular, causando amolecimento da célula e alteração de suas propriedades de transporte, além de provocarem diminuição da viscosidade do meio, favorecendo a transferência de massa. Contudo, apesar da viscosidade da solução de sacarose ser diretamente proporcional à concentração da solução, esse efeito é mais pronunciado a altas temperaturas (ERICKSON; BERNTSEN; ELIASON, 1966; GALMARINI et al., 2011). Isso indica também que, apesar da importância fundamental da atividade de água no processo de desidratação osmótica, a resistência externa à transferência de massa desempenhou um papel importante na cinética do processo (LAZARIDES; KATSANIDIS; NICKOLAIDIS, 1995; PONTING, 1973).

Nas soluções de sacarose, foi observado que o menor valor da difusividade deste açúcar foi obtido justamente na condição que forneceu o maior valor de difusividade da água. Como são fluxos em contracorrente, é provável que a maior intensidade do fluxo de saída de água tenha exercido uma barreira à entrada de sólidos, cujo efeito diminui a medida que o potencial de transferência de massa diminui.

Este efeito não foi notado nas soluções de xarope de milho, em que a menor difusividade foi obtida a 34% de xarope de milho e 35 °C. O xarope de milho é uma mistura de oligossacarídeos e açúcares redutores (glicose, maltose, etc), que conferem à mistura um percentual considerável de moléculas com dimensão molecular menor do que a sacarose e, conseqüentemente, deveriam favorecer o processo de impregnação, cujo controle exercido pelas membranas celulares baseia-se neste critério de tamanho. Todavia, a natureza química desses carboidratos na solução favorece a aglomeração das moléculas de menor massa molecular (DOKIC; JAKOVLJEVIC; DOKICEL, 2004), o que resulta na diminuição do processo de impregnação do tecido vegetal.

5.3.2.1.3 Modelo do tempo de redução da taxa (tempo de meia vida)

Os parâmetros do modelo proposto foram obtidos a partir dos resultados ilustrados nas Tabelas 5.8 e 5.9, conforme as Equações 4.18, 4.23 e 4.24 e encontram-se expostos nas Tabelas 5.11 e 5.12 (soluções de sacarose) e nas Tabelas 5.13 e 5.14 (soluções de xarope de milho), para perda de água e para o ganho de sólidos, respectivamente.

Notou-se que, para ambos os agentes desidratantes, os valores de perda de água determinados nos diferentes tempos de meia vida ($PA(t_{1/2})$), obtidos em diferentes condições de processamento, oscilaram em torno de um valor médio com discreta variação. Por sua vez, os valores de ganho de sólidos calculados no tempo de meia vida ($GS(t_{1/2})$) apresentaram uma maior variação nas mesmas condições (Tabelas 5.11 a 5.14).

Convém destacar que o tempo de meia vida representa o tempo necessário para se reduzir à metade o valor da taxa inicial e, indiretamente, o potencial de transferência do processo. Assim, esse comportamento distinto pode ser atribuído à natureza de cada fenômeno estudado, onde a perda de água está mais associada à atividade de água da solução, enquanto que o ganho de sólidos possui, além da atividade de água da solução, uma maior contribuição de outros fatores relevantes, como a seletividade da membrana celular e a

natureza do soluto (viscosidade, interações físicoquímicas, etc) presente na solução, em relação à perda de água.

Os modelos propostos apresentaram, de forma geral, coeficientes de determinação superiores aos modelos originais de Peleg e difusional (Tabelas 5.8 a 5.10) e valores de desvio relativo médio superiores ao de Peleg e inferiores ao difusional.

Tabela 5.11 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de meia vida proposto para a perda de água (PA) obtidos utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de sacarose.

Condições Experimentais		PELEG MODIFICADO				DIFUSIONAL MODIFICADO			
T (°C)	C (%p/p)	PA*(t _{1/2})	t _{1/2} (min)	R ²	P(%)	PA*(t _{1/2})	D _{ef} x 10 ¹⁰ (m ² /s)	R ²	P(%)
28	33,3	13,4	33,4	0,9884	17,2	13,6	2,16	0,9830	11,0
28	53,1	19,4	57,6	0,9701	9,0	19,5	1,36	0,9828	7,8
42	33,3	15,7	30,7	0,9840	27,4	15,8	2,60	0,9799	16,9
42	53,1	16,5	19,4	0,9607	58,4	16,7	3,68	0,9558	21,0
35	43,2	15,5	34,8	0,9786	11,8	14,4	2,10	0,9766	13,2
35	43,2	16,9	37,1	0,9789	20,1	17,4	1,99	0,9776	13,5
35	43,2	17,6	37,9	0,9793	8,3	16,7	1,96	0,9772	13,8
35	29,2	11,2	36,4	0,9846	25,8	11,5	2,02	0,9818	12,3
25	43,2	14,8	51,8	0,9815	9,8	15,6	1,51	0,9907	6,4
35	57,1	18,8	35,6	0,9827	14,0	17,6	1,72	0,9705	9,1
45	43,2	16,9	29,9	0,9806	17,4	16,9	2,34	0,9753	13,5
Média		16,1±2,4	36,8±10,3	Média		16,0±2,2			

T: temperatura da solução; C: concentração da solução; PA(t_{1/2}) perda de água calculada no tempo de meia-vida (t_{1/2}); R²: coeficiente de determinação; P: desvio relativo médio; D_{ef}: difusividade efetiva; *g_{água}/100 amostra

Tabela 5.12 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de meia vida proposto para o ganho de sólidos (GS) obtidos utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de sacarose.

Condições Experimentais		PELEG MODIFICADO				DIFUSIONAL MODIFICADO			
T (°C)	C (%p/p)	GS*(t _{1/2})	t _{1/2} (min)	R ²	P(%)	GS*(t _{1/2})	D _{ef} x 10 ¹⁰ (m ² /s)	R ²	P(%)
28	33,3	2,8	46,3	0,9448	19,7	2,8	1,45	0,9557	11,3
28	53,1	5,3	53,6	0,9708	14,0	5,3	1,30	0,9721	14,5
42	33,3	2,5	34,2	0,9734	10,4	2,4	2,12	0,9585	17,6
42	53,1	7,4	105,5	0,9316	7,5	7,7	0,62	0,9733	5,6
35	43,2	4,3	53,8	0,9547	11,6	4,3	1,46	0,9490	13,1
35	43,2	4,5	50,4	0,9483	14,9	4,5	1,36	0,9752	13,9
35	43,2	4,6	44,2	0,9514	36,6	4,5	1,49	0,9607	19,2
35	29,2	2,0	37,8	0,9529	16,3	1,9	1,96	0,9200	22,1
25	43,2	3,5	40,1	0,9251	19,1	3,3	2,05	0,8940	22,5
35	57,1	6,4	43,1	0,9577	9,9	6,2	1,77	0,9583	14,6
45	43,2	3,4	25,7	0,9485	21,3	3,0	2,60	0,9319	23,9
Média		4,2±1,7	48,6±20,7	Média		4,2±1,7			

T: temperatura da solução; C: concentração da solução; GS(t_{1/2}) ganho de sólido calculado no tempo de meia-vida (t_{1/2}); R²: coeficiente de determinação; P: desvio relativo médio; D_{ef}: difusividade efetiva; *g_{sólidos}/100 amostra

Verificou-se que os tempos de meia vida das taxas de desidratação foram menores do que os de impregnação e que, aproximadamente, 70% dos valores dessas variáveis variaram num intervalo de confiança composto por um desvio padrão, seguindo uma distribuição normal, mesmo com número limitado de amostras, indicando que, estatisticamente, esses valores representaram amostras que pertencem a um conjunto com mesma média. Em outras palavras, há um forte indício de que não há diferença estatística entre os valores de (PA(t_{1/2})) determinados em diferentes condições de processamento. A mesma conclusão pode ser generalizada para (GS(t_{1/2})). Entretanto, é importante ter em mente que é necessária uma análise estatística mais robusta para suportar esta hipótese, que é apresentada na seção 5.3.3.3.

Tabela 5.13 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de meia vida proposto para a perda de água (PA) obtidos utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de xarope de milho.

Condições Experimentais		PELEG MODIFICADO				DIFUSIONAL MODIFICADO			
T (°C)	C (% p/p)	PA*(t _{1/2})	t _{1/2} (min)	R ²	P(%)	PA*(t _{1/2})	D _{ef} x 10 ¹⁰ (m ² /s)	R ²	P(%)
28	38,7	14,1	45,4	0,959	11,7	13,7	1,47	0,9609	11,2
28	61,3	22,0	71,2	0,951	9,9	22,6	0,80	0,9755	10,7
42	38,7	12,5	31,7	0,949	19,4	11,4	1,85	0,9454	13,7
42	61,3	22,4	32,2	0,968	17,8	20,5	1,83	0,9646	12,8
35	50	18,4	40,7	0,982	7,3	17,6	1,58	0,9729	11,5
35	50	20,3	49,1	0,970	9,8	20,0	1,58	0,9636	12,6
35	50	19,3	44,9	0,982	7,1	18,7	1,48	0,9710	10,6
35	34	12,1	39,2	0,963	27,0	12,4	1,62	0,9598	16,6
25	50	18,7	59,7	0,959	9,0	18,8	1,20	0,9679	8,2
35	66	18,3	31,1	0,974	16,0	16,7	1,87	0,9645	15,8
45	50	18,7	30,8	0,972	22,4	17,0	1,88	0,9639	11,5
Média		17,9±3,5	43,3±12,9			Média	17,2±3,5		

T: temperatura da solução; C: concentração da solução; PA(t_{1/2}) perda de água calculada no tempo de meia-vida (t_{1/2}); R²: coeficiente de determinação; P: desvio relativo médio; D_{ef}: difusividade efetiva; *g_{água}/100 g_{amostra}

Na Figura 5.14 é apresentada a capacidade do modelo proposto em predizer a perda de água (5.14a) e o ganho de sólidos (5.14b) no equilíbrio em soluções de xarope de milho e sacarose.

Tabela 5.14 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de meia vida para o ganho de sólidos (GS) obtidos utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de xarope de milho.

Condições Experimentais		PELEG MODIFICADO				DIFUSIONAL MODIFICADO			
T (°C)	C (%p/p)	GS*(t _{1/2})	t _{1/2} (min)	R ²	P(%)	GS*(t _{1/2})	D _{ef} x 10 ¹⁰ (m ² /s)	R ²	P(%)
28	38,7	2,2	64,1	0,959	12,2	2,4	1,13	0,9704	8,7
28	61,3	1,8	37,5	0,973	15,5	1,7	1,98	0,9789	10,9
42	38,7	1,2	31,3	0,966	12,9	1,2	2,56	0,9430	23,0
42	61,3	2,3	72,3	0,864	17,4	2,4	1,03	0,9004	13,6
35	50	2,3	60,5	0,893	17,6	2,3	1,32	0,9305	13,2
35	50	2,0	55,1	0,960	18,7	2,1	1,49	0,9457	15,1
35	50	2,0	55,6	0,946	9,0	2,0	1,26	0,9678	8,5
35	34	2,3	109,5	0,894	13,3	2,4	0,70	0,9461	8,4
25	50	2,3	34,1	0,976	7,4	2,1	2,13	0,9686	16,1
35	66	2,8	34,4	0,910	24,3	2,6	2,50	0,8619	28,8
45	50	3,7	88,1	0,962	8,9	3,8	0,86	0,9889	4,7
Média		2,3±0,6	58,4±24,7	Média		2,3±0,6			

T: temperatura da solução; C: concentração da solução; GS(t_{1/2}) ganho de sólido calculado no tempo de meia-vida (t_{1/2}); R²: coeficiente de determinação; P: desvio relativo médio; D_{ef}: difusividade efetiva; *g_{sólidos}/100 g_{amostra}

Em ambas as soluções, o modelo foi capaz de prever adequadamente os valores de equilíbrio, pois os valores de erro relativo médio foram menores que 10% e os valores dos coeficientes de determinação (R²) obtidos foram próximos à unidade. Contudo, para a perda de água, o modelo apresentou uma tendência a superestimar essa variável (Figura 5.14a), o que pode indicar que o processo de perda de água em soluções de sacarose ainda não tenha atingido o equilíbrio após um dia de processamento, como fora proposto neste estudo. Para as soluções de xarope de milho, pode-se considerar que o equilíbrio tenha sido atingido tanto para o ganho de sólidos quanto para a perda de água.

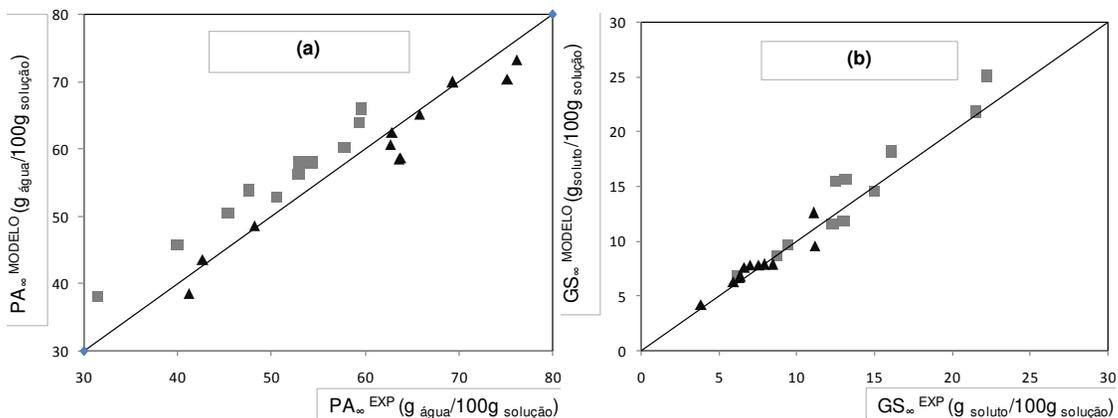


Figura 5.14 - Capacidade de ajuste do modelo de Peleg aos valores de perda de água (a) e ganho de sólidos (b) no equilíbrio, em soluções de sacarose (■) e xarope de milho (▲).

Ganjloo et al. (2012), desidratando osmoticamente goiabas em soluções de sacarose em temperatura e concentrações similares às do presente estudo, verificaram que o modelo de Peleg apresentou também tendência a superestimar os valores de perda de água no equilíbrio.

Na Figura 5.15, são mostradas as taxas de perda de água em soluções de sacarose e xarope de milho, obtidas a partir da Equação (3.10), utilizando os dados da Tabela 5.9. São apresentados apenas os ensaios X1, X4, S1 e S4, pois os demais apresentaram a mesma tendência. Na Figura 5.16, são apresentados, para estes mesmos ensaios, apenas os resultados das taxas obtidos entre 30 e 360 minutos de desidratação osmótica.

A evolução dos valores das taxas de desidratação, de forma geral, independeu do tipo de soluto utilizado (Figuras 5.15 e 5.16). Como é possível estabelecer uma relação entre a taxa de desidratação e a força motriz do processo (a diferença de atividade de água entre o produto e a solução), notou-se então que a variação observada durante a redução dessa força motriz foi numericamente similar nas diferentes condições utilizadas, apesar da diferença verificada entre os seus valores absolutos.

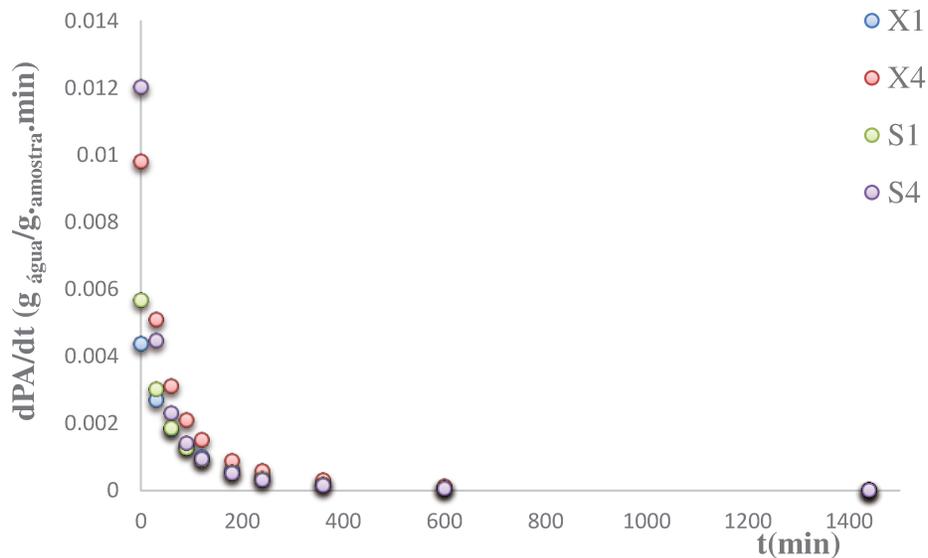


Figura 5.15 - Taxas de perda de água em soluções de sacarose e de xarope de milho (**X1**: 38,7% p/p e 27,9 °C; **X4**: 61,3% p/p e 42,1 °C; **S1**: 33,3% p/p e 27,9 °C; **S4**: 53,1% p/p e 42,1 °C).

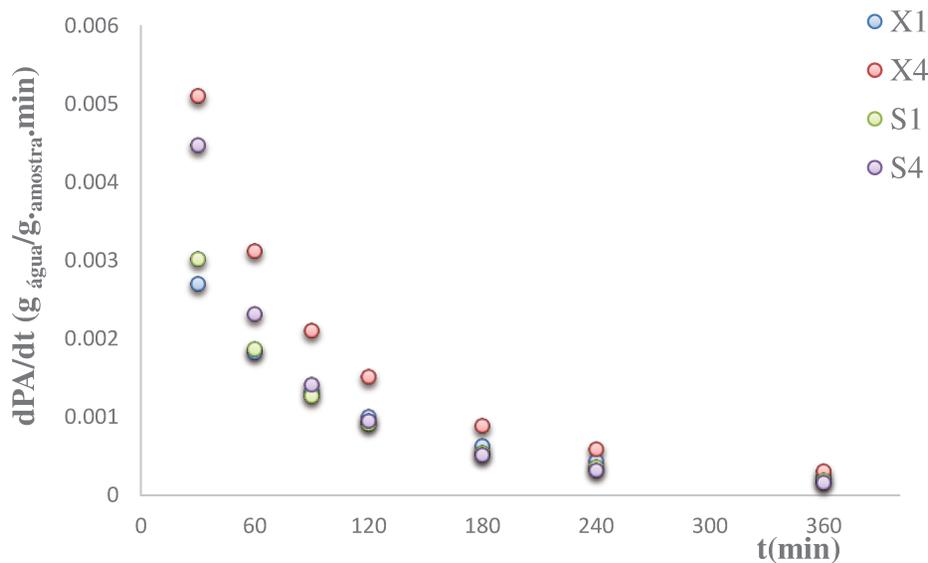


Figura 5.16 - Taxas de perda de água em soluções de sacarose e de xarope de milho no início (30 a 360 minutos de desidratação osmótica (**X1**: 38,7% p/p e 27,9 °C; **X4**: 61,3% p/p e 42,1 °C; **S1**: 33,3% p/p e 27,9 °C; **S4**: 53,1% p/p e 42,1 °C).

Isto sugere a existência de uma relação comum entre o tempo de processamento e a redução desse potencial, como uma propriedade intrínseca do processo. Isso pode explicar a tendência dos valores de PA e GS, calculados nos diferentes tempos de meia vida, oscilarem em torno de um valor médio, conforme pode ser observado nas Tabelas 5.11 a 5.14, sobretudo para o ganho de sólidos em soluções de xarope de milho.

5.3.2.1.4 Determinação do tempo de processamento

A partir das Figuras 5.15 e 5.16, verificou-se que o histórico da redução da taxa de desidratação, para ambos os agentes osmóticos, ocorreu de forma semelhante: num mesmo instante, a redução das taxas em relação aos valores iniciais foi bastante similar para todas as condições estudadas.

De acordo com os resultados expostos nas Tabelas 5.11 a 5.14, verificou-se que o tempo de meia vida da perda de água apresentou maior significância estatística (menores valores de coeficiente de variação) do que os de ganho de sólidos, cujos valores foram sistematicamente maiores, indicando que ao adotar o tempo de meia vida da perda de água como critério para definição do tempo de processamento, estar-se-ia priorizando a desidratação em detrimento do processo de impregnação.

Desta forma, para cada agente desidratante, sugeriu-se que o tempo de processamento para a obtenção dos produtos desidratados osmoticamente poderia ser baseado no valor do limite superior do intervalo de confiança obtido (Tabelas 5.11 e 5.13). Desse modo, tem-se 47 minutos para as soluções de sacarose e 56 minutos para as de xarope de milho, utilizando-se como critério o tempo de meia vida. Contudo, é importante frisar que essa definição se deu em função da proposta de redução da taxa à metade do seu valor inicial e não em função da perda de água propriamente dita, que nestas condições ficaram entre 15 e 20%, para ambos os agentes desidratantes.

Como o modelo é baseado na redução da taxa e prevê uma n -ésima redução

(Equação 4.7 b), o valor de n pode ser estabelecido em função da extensão da desidratação ou impregnação desejada no processo. Nas Tabelas 5.15 e 5.16 são apresentados os resultados dos valores de perda de água calculados nos tempos da n -ésima ($3 \leq n \leq 6$) redução da taxa de desidratação em soluções de sacarose e xarope de milho, respectivamente.

Os resultados expostos nas Tabelas 5.15 e 5.16 foram comparados com os apresentados nas Tabelas 5.11 e 5.13. Notou-se que o tempo necessário para se obter n reduções da taxa de desidratação é proporcional à raiz quadrada do valor de n . Conforme era esperado, o aumento da extensão dessa redução promoveu uma maior perda de água. Todavia, essa relação não foi linear.

Em soluções de sacarose, a perda de água calculada no tempo de redução da taxa sofreu incrementos de 32, 55, 72 e 86% em relação ao tempo de meia vida ($n=2$) para valores de n iguais a 3, 4, 5 e 6, respectivamente; enquanto que o aumento no tempo necessário em relação ao tempo de meia vida, para essas n -reduções foi 77, 142, 199 e 251% (Tabela 5.15).

De maneira semelhante, nas soluções de xarope de milho ao se aumentar a extensão da redução da taxa inicial de desidratação para $n=3, 4, 5$ e 6, os seguintes incrementos em relação aos obtidos no tempo de meia vida ($n=2$) foram obtidos 27, 49, 65 e 79% para a perda de água e de 77, 142, 199 e 250% do tempo necessário (Tabela 5.16).

A escolha da extensão da redução da taxa (n) nesse estudo foi feita em função do valor da perda de água obtida no tempo de redução, cujo valor não deveria ser menor do que 20% p/p e o tempo em que essa redução fosse alcançada não excedesse 100 minutos. Desta maneira, estabeleceu-se o valor de n igual a 3. A partir dos resultados expostos nas Tabelas 5.15 e 5.16, foi estabelecido que o tempo de processamento para a obtenção dos produtos desidratados osmoticamente, baseado no valor do limite superior do intervalo de confiança obtido, seria de 83 minutos para as soluções de sacarose e 99 minutos para as de xarope de milho.

Tabela 5.15 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de n -ésima redução da taxa proposto para a perda de água (PA) obtidos, utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de sacarose.

Condições Experimentais		$n=3$		$n=4$		$n=5$		$n=6$	
T (°C)	C (%p/p)	$PA^*(t_{1/3})$	$t_{1/3}$ (min)	$PA^*(t_{1/4})$	$t_{1/4}$ (min)	$PA^*(t_{1/5})$	$t_{1/5}$ (min)	$PA^*(t_{1/6})$	$t_{1/6}$ (min)
28	33,3	18,1	59	21,2	81	23,5	100	25,4	117
28	53,1	25,9	102	30,3	139	33,6	172	36,4	202
42	33,3	21,0	54	24,5	74	27,3	92	29,5	108
42	53,1	22,2	34	25,9	47	28,8	58	31,2	68
35	43,2	19,2	61	22,4	84	24,9	104	27,0	122
35	43,2	23,1	66	27,0	90	30,0	111	32,4	130
35	43,2	22,2	67	25,9	91	28,8	113	31,2	133
35	29,2	15,3	64	17,9	88	19,8	109	21,4	127
25	43,2	20,7	92	24,2	125	26,9	155	29,1	181
35	57,1	23,3	63	27,3	86	30,3	106	32,8	125
45	43,2	22,5	53	26,3	72	29,2	89	31,6	105
Médias		21,2±2	65,0±1	24,8±3	88,8±24	27,6±3	109,9±30	29,8±4	128,9±36

T: temperatura da solução; C: concentração da solução; $PA(t_{1/n})$ perda de água calculada no tempo de n -ésima redução da taxa de desidratação ($t_{1/n}$); * $g_{\text{água}}/100 g_{\text{amostra}}$.

Verificou-se que o tempo de n -reduções da taxa de desidratação pode ser utilizado como critério na definição do tempo de processo, para a avaliação do impacto qualitativo durante o processo de desidratação osmótica.

Tabela 5.16 - Parâmetros de ajuste do modelo do tempo de n -ésima redução da taxa proposto para a perda de água (PA) obtidos, utilizando os modelos de Peleg e difusional como referência para a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de xarope de milho.

Condições Experimentais		$n=3$		$n=4$		$n=5$		$n=6$	
T (°C)	C (%p/p)	$PA^*(t_{1/n})$	$t_{1/n}$ (min)						
28	38,7	18,2	80	21,3	110	23,7	136	25,6	159
28	61,3	30,0	126	35,1	172	39,0	213	42,1	249
42	38,7	15,2	56	17,8	77	19,8	95	21,4	111
42	61,3	27,3	57	31,9	78	35,4	96	38,3	113
35	50	23,4	72	27,4	98	30,4	122	32,9	143
35	50	26,6	87	31,3	119	34,6	147	37,4	172
35	50	24,9	79	29,1	109	32,3	134	35,0	157
35	34	15,2	69	17,8	95	19,8	117	21,4	137
25	50	25,0	106	29,2	144	32,5	178	35,1	209
35	66	22,2	55	25,9	75	28,8	93	31,2	109
45	50	22,6	55	26,4	74	29,3	92	31,7	108
Médias		22,8±4	76,5±2	26,7±5	104,6±31	29,6±6	129,4±38	32,0±6	151,5±45

T: temperatura da solução; C: concentração da solução; $PA(t_{1/n})$ perda de água calculada no tempo de n -ésima redução da taxa de desidratação ($t_{1/n}$); * $g_{\text{água}}/100 g_{\text{amostra}}$.

5.3.3 Efeito da Temperatura e concentração

De modo a avaliar o efeito da temperatura e da concentração da solução desidratante sobre as parâmetros cinéticos, para cada agente desidratante, os dados obtidos na seção anterior foram analisados mediante um planejamento experimental, cujos resultados encontram-se expostos a seguir. Para cada resposta avaliada, a análise estatística foi feita admitindo-se um intervalo de confiança de 95%, ou seja: um nível de significância de 5% ($p < 0,05$), utilizando-se a soma quadrática dos resíduos. Para alguns parâmetros, em função de sua relevância no fenômeno, foi admitido até 10% de significância ($p < 0,1$). Os coeficientes não significativos foram incorporados à falta de ajuste dos seus respectivos modelos codificados e somente os modelos considerados preditivos tiveram suas respectivas superfícies de resposta geradas e avaliadas. Para todas as respostas avaliadas, os modelos lineares (sem os pontos axiais) e os modelos completos (considerando os pontos axiais) foram avaliados e comparados entre si quanto ao resultado de suas análises de variância e desvios relativos médios.

5.3.3.1 Valores de perda de água e ganho de sólidos no equilíbrio ($1/K_{2,i}$)

Para a perda de água no equilíbrio (PA_{∞}) obtida nas soluções de sacarose, notou-se que a concentração foi a variável determinante na obtenção de seus valores, conforme foi reportado por Sacchetti et al. (2001). O parâmetro de interação foi estatisticamente significativo, apenas a 10% de significância, indicando que pode ter existido uma ação sinérgica entre a temperatura e a concentração da solução, ou seja: a temperatura só influencia nesta resposta quando se varia simultaneamente a concentração (Tabela 5.17). Essa interação entre a temperatura e a concentração pode ser explicada pelos efeitos viscosos, que em maiores concentrações são mais pronunciadamente influenciados pela temperatura, conforme salientado anteriormente.

Tabela 5.17 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de perda de água (PA_{∞}) e ganho de sólidos (GS_{∞}) no equilíbrio durante a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de sacarose.

Fonte de Variação	PA_{∞}		GS_{∞}	
	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)
<i>Média</i>	54,92	56,19	14,32	15,05
<i>C</i>	7,42	5,68	5,79	6,24
<i>C</i> ²	n.s	-	n.s	-
<i>T</i>	n.s	n.s	n.s	1,49*
<i>T</i> ²	n.s	-	n.s	-
<i>C.T</i>	-4,38*	-4,38*	n.s	1,98
$F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}$	5,3	2,9	15,6	10,7
<i>P</i> (%)	9,4	2,9	10,4	4,1
<i>R</i> ²	0,8060	0,8634	0,8538	0,9830

n.s: não significativo a 5% de significância ($p > 0,05$); * não significativo a 5%, mas significativo a 10% de significância ($p < 0,1$); *P*: desvio relativo médio; *R*²: coeficiente de determinação; *C*: concentração da solução (% p/p); *T*: temperatura da solução (°C).

Na Tabela 5.17, é possível ainda confirmar que a concentração foi a variável mais importante para a determinação do valor do ganho de sólidos no equilíbrio. Entretanto,

verificou-se que a temperatura também exerceu um papel importante (modelo linear), sendo que ambas as variáveis apresentaram efeito positivo sobre esta resposta, ou seja, um aumento na concentração e/ou na temperatura provoca aumento nos valores de equilíbrio de PA e de GS.

Conforme discutido anteriormente, a atividade de água é a variável que exerce a maior influência sobre a perda de água durante o processo de desidratação osmótica. E a atividade de água da solução é relativamente mais influenciada por sua concentração da solução do que por sua temperatura. Já o ganho de sólidos sofre maior influência, além da atividade de água, de outros fatores fortemente dependentes da temperatura, como a viscosidade e a desestruturação celular (CHENLO et al., 2002), massa molecular do soluto (LAZARIDES; KATSANIDIS; NICKOLAIDIS, 1995) e sua interação com a membrana celular do alimento (HEREDIA et al., 2009; FAN et al., 2014).

Verificou-se que, para ambas as respostas (PA e GS no equilíbrio), os modelos quadráticos apresentaram valores de F calculados maiores do que os valores tabelados em relação aos modelos lineares (Tabela 5.17). Contudo, esses últimos apresentaram coeficientes de determinação (R^2) maiores e desvios relativos menores do que os modelos quadráticos que, somados à discussão anterior sobre a simplicidade desejada dos modelos, determinaram a escolha dos modelos lineares para descrever a perda de água e o ganho de sólidos no equilíbrio em função da concentração e temperatura, equações 5.1 e 5.2, que são representadas graficamente na Figura 5.17 (a) e (b), respectivamente.

$$PA_{\infty}^{sacarose} = 56,19 + 5,68.C - 4,38.C.T \quad (5.1)$$

$$GS_{\infty}^{sacarose} = 15,05 + 6,24.C + 1,49.T + 1,98.C.T \quad (5.2)$$

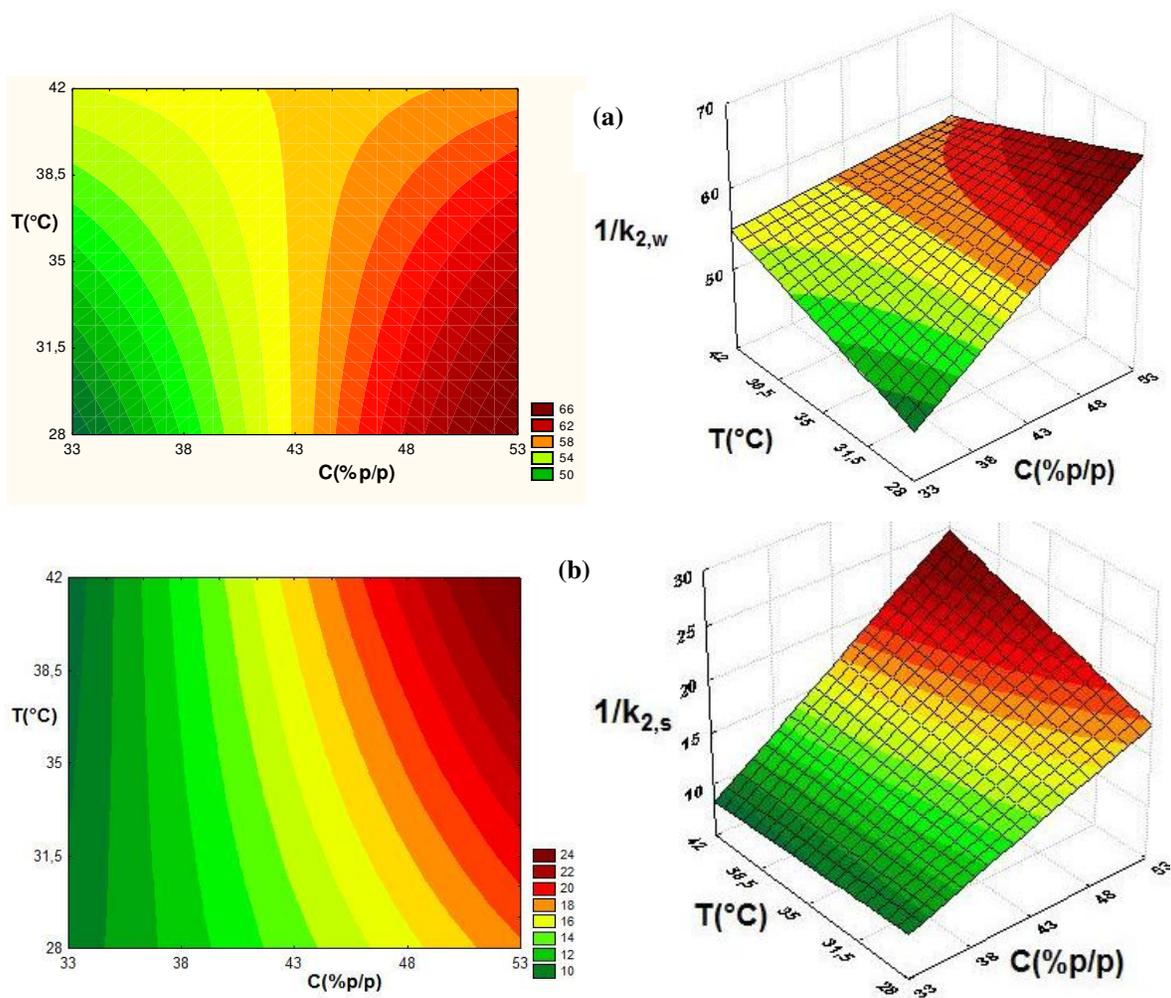


Figura 5.17 - Influência da temperatura e concentração das soluções de sacarose sobre o parâmetro cinético $1/K_2$ para a perda de água (a) e para o ganho de sólidos (b), PA_{∞} e GS_{∞} , respectivamente.

Nas maiores temperaturas, o valor da perda de água no equilíbrio predito pelo modelo ($1/K_{2,w}$) pouco foi influenciado pela concentração de sacarose, que, entretanto, exerceu influência positiva significativa em baixas temperaturas. Conforme discutido anteriormente, a temperatura e a concentração da solução osmótica atuam de forma distinta na determinação dos valores de perda de água no equilíbrio. Elevadas temperaturas danificam o tecido vegetal, alterando irreversivelmente a seletividade da membrana, o que reduz o controle exercido pelo potencial de transferência do processo (atividade de água).

Este efeito da atividade de água (i.e. concentração da solução) é mais evidenciado nos tecidos submetidos a condições mais amenas de temperatura conforme a Figura 5.17a.

Corroborando com o discutido anteriormente, a análise da Figura 5.17(b) demonstra que os maiores valores de GS no equilíbrio foram obtidos nas maiores temperaturas e concentrações, o que está de acordo com alguns estudos (FAN et al., 2014; GANJLOO et al., 2012; PARK et al., 2002; PONTING, 1973; RAOULT-WACK, 1994; RUIZ-LÓPEZ et al., 2011; SOURAKI et al., 2011). Nota-se, contudo, que para a perda de água foi observado que os maiores valores no equilíbrio foram obtidos nas maiores concentrações e nas mais baixas temperaturas, nas quais os valores de ganho de sólidos eram relativamente baixos (Figura 5.17a). Provavelmente, estes fluxos de sólidos representaram, proporcionalmente, uma resistência adicional à transferência de água do produto para a solução, nestas condições.

Fan et al. (2014) avaliaram os coeficientes da distribuição de equilíbrio de abóboras d'água e observaram que os valores de ganho de sólidos no equilíbrio (SG_{∞}) apresentaram uma relação de proporcionalidade direta com o aumento tanto da temperatura, quanto da concentração da solução. Por sua vez, a concentração da solução influenciou positivamente os valores de equilíbrio da perda de água (WL_{∞}), ao passo que a temperatura não demonstrou efeito sobre essa variável, embora não tenha apresentado efeito negativo, como fora observado no presente estudo.

Para as soluções contendo xarope de milho como agente desidratante (Tabela 5.18), a concentração da solução foi a única variável estatisticamente significativa influenciando os valores de perda de água no equilíbrio (Eq. 5.3). A temperatura apresentou apenas efeito sinérgico com a concentração sobre o valor do ganho de sólidos no equilíbrio, quando se analisou o modelo linear.

Concluiu-se também que o modelo linear que descreve a perda de água no equilíbrio em soluções de xarope de milho apresentou o melhor ajuste, de acordo com a Tabela 5.18 e é mostrado na equação 5.3.

Tabela 5.18 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de perda de água (PA_{∞}) e ganho de sólidos (GS_{∞}) no equilíbrio durante a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de xarope de milho.

	PA_{∞}		GS_{∞}	
Fonte de variação	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)
<i>Média</i>	65,59	62,91	7,11	6,76
<i>C</i>	11,39	15,13	n.s	n.s
<i>C</i> ²	-6,24	-	n.s	-
<i>T</i>	n.s	n.s	n.s	n.s
<i>T</i> ²	n.s	-	n.s	-
<i>C.T</i>	n.s	n.s	n.s	1,25
$F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$	6,9	7,9	n.s	1,3
<i>P</i> (%)	5,7	4,7	n.s	9,3
<i>R</i> ²	0,8847	0,9124	n.s	0,6341

n.s: não significativo a 5% de significância ($p > 0,05$); * não significativo a 5%, mas significativo a 10% de significância ($p < 0,1$); *P*: desvio relativo médio; *R*²: coeficiente de determinação; *C*: concentração da solução (% p/p); *T*: temperatura da solução (°C).

Ainda na Tabela 5.18, verificou-se que o modelo quadrático resultante da regressão dos valores de ganho de sólidos no equilíbrio não apresentou nenhum parâmetro estatisticamente significativo. Por sua vez, a análise do modelo linear sugeriu que apenas o

parâmetro de interação foi estatisticamente significativo a 95% de confiança. Contudo, o mesmo não foi considerado preditivo, uma vez que apenas 63% das variações observadas na resposta são explicadas pelo modelo. Assim, apenas os efeitos podem ser analisados para o ganho de sólidos no equilíbrio em soluções de xarope de milho.

$$PA_{\infty}^{xarope} = 63,91 + 15,13.C \quad (5.3)$$

A Figura 5.18 é a representação gráfica da Eq. 5.3, em que fica claro que a temperatura não exerceu influência sobre a perda de água predita no equilíbrio, que foi função única e linearmente da concentração de xarope de milho. Contudo, cabe ressaltar que a análise é válida apenas para a faixa de temperatura e concentração utilizada no presente estudo.

O aumento da concentração de xarope de milho promove um aumento na viscosidade da solução, enquanto que a temperatura exerce efeito contrário (ERICKSON; BERNTSEN; ELIASON, 1966). Conforme foi salientado anteriormente, o fluxo de saída de água do alimento é menos dependente da viscosidade da solução do que o ganho de sólidos. Pode-se considerar que o efeito da concentração sobre a viscosidade foi muito mais intenso do que o da temperatura, dentro da faixa estudada.

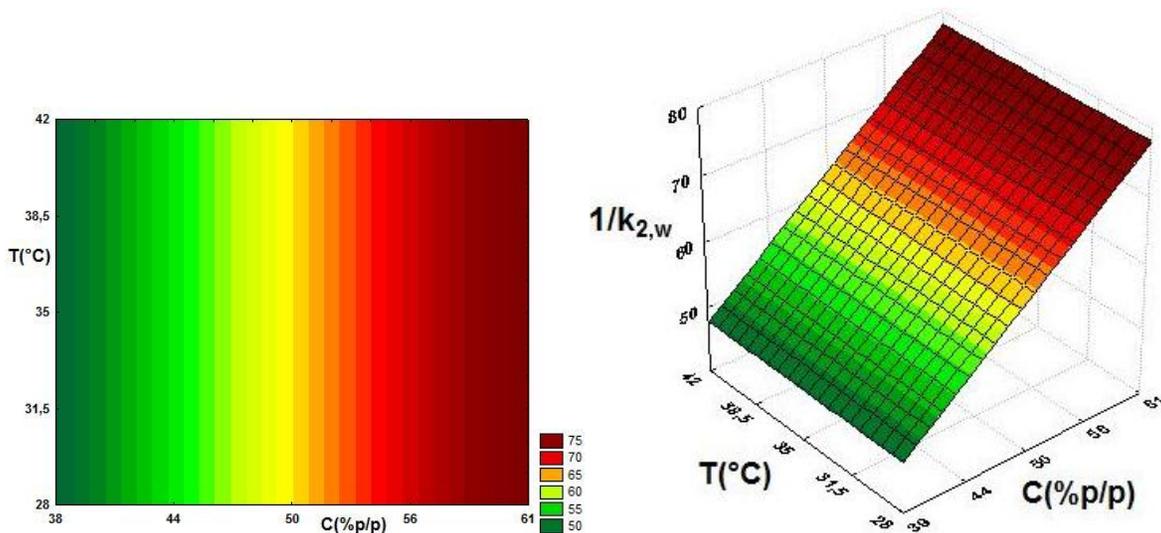


Figura 5.18 - Influência da temperatura e concentração das soluções de xarope de milho sobre o parâmetro cinético $1/K_2$ para a perda de água (PA_{∞}).

5.3.3.2 Valores das taxas iniciais de PA e GS ($1/K_{1,i}$)

Nas Tabelas 5.19 e 5.20 são apresentados os resultados da análise estatística aplicada aos valores das taxas iniciais para a perda de água e para o ganho de sólidos, obtidas de acordo com o modelo cinético proposto, durante a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de sacarose e xarope de milho, respectivamente.

Nas soluções de sacarose, foi verificado que as taxas iniciais de perda de água obtidas se ajustaram melhor ao modelo quadrático em comparação ao modelo linear. O modelo quadrático (Eq. 5.4) apresentou coeficiente de determinação (R^2) mais elevado, $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$ e erro relativo médio menor do que o modelo linear (Tabela 5.19). Observou-se também que para a taxa inicial de impregnação não foram obtidos coeficientes estatisticamente significativos, tanto para o modelo linear quanto para o quadrático (Tabela 5.19). Na Figura 5.19 tem-se a representação gráfica da equação 5.4.

$$\left. \frac{dPA}{dt} \right|_{t=0}^{\text{sacarose}} = 0,7011 + 0,2215.T + 0,1430.C.T \quad (5.4)$$

Tabela 5.19 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores das taxas iniciais de perda de água ($dPA/dt_{t=0}$) e ganho de sólidos ($dGS/dt_{t=0}$) preditos pelo modelo durante a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de sacarose.

Fonte de variação	$dPA/dt_{t=0}$		$dGS/dt_{t=0}$	
	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)
<i>Média</i>	0,6632	0,7011	0,1292	0,1170
<i>C</i>	0,1034	n.s	n.s	n.s
<i>C</i> ²	n.s	-	n.s	n.s
<i>T</i>	0,1813	0,2215	n.s	n.s
<i>T</i> ²	n.s	-	n.s	n.s
<i>C.T</i>	0,1430	0,1430	n.s	n.s
F_{calc}/F_{tab}	17,2	1,5	n.s	n.s
<i>P</i> (%)	8,5	12,1	n.s	n.s
<i>R</i> ²	0,8803	0,8354	n.s	n.s

n.s: não significativo a 5% de significância ($p > 0,05$); *P*: desvio relativo médio; *R*²: coeficiente de determinação; *C*: concentração da solução (% p/p); *T*: temperatura da solução (°C).

Tabela 5.20 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores das taxas iniciais de perda de água ($dPA/dt_{t=0}$) e de ganho de sólidos ($dGS/dt_{t=0}$) preditos pelo modelo durante a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de xarope de milho.

Fonte de variação	$dPA/dt_{t=0}$		$dGS/dt_{t=0}$	
	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)
<i>Média</i>	0,6194	0,6069	0,0515	0,0534
<i>C</i>	0,1231	0,1055	n.s	n.s
<i>C</i> ²	n.s	-	n.s	-
<i>T</i>	0,1567	0,1665	n.s	-0,0044*
<i>T</i> ²	n.s	-	n.s	-
<i>C.T</i>	0,1060	0,1060	n.s	-0,0078
F_{calc}/F_{tab}	23,9	13,4	n.s	1,8
<i>P</i> (%)	4,2	1,6	n.s	4,3
<i>R</i> ²	0,9781	0,9920	n.s	0,8619

n.s: não significativo a 5% de significância ($p > 0,05$); * não significativo a 5%, mas significativo a 10% de significância ($p < 0,1$); *P*: desvio relativo médio; *R*²: coeficiente de determinação; *C*: concentração da solução (% p/p); *T*: temperatura da solução (°C).

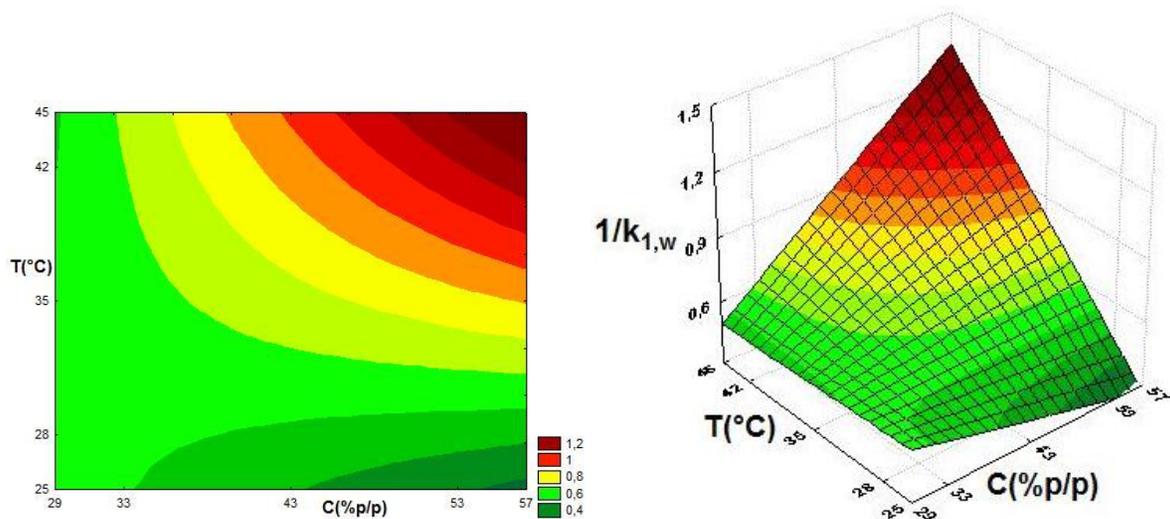


Figura 5.19 - Influência da temperatura e concentração das soluções de sacarose sobre a taxa inicial de desidratação ($1/k_{1,w}$).

A diferença entre o processo de desidratação e de impregnação é mais intensa no início. Isso explica porque a temperatura e concentração da solução apresentaram, neste período, maior impacto no fluxo de saída de água do que no ganho de sólidos, que são fluxos em contracorrente e intimamente relacionados.

Analisando a Figura 5.19, observa-se que a baixas concentrações, a temperatura não apresentou influência nessa resposta. Conforme já discutido, a baixas concentrações a resistência externa à transferência de massa, representada pela viscosidade da solução, é minimizada e o efeito da temperatura sobre a velocidade de desidratação é percebido à medida que se aumenta a concentração da solução e, conseqüentemente, sua viscosidade.

Em baixas temperaturas, notou-se que o aumento da concentração apresentou um ligeiro efeito negativo na taxa inicial, ou seja: o aumento da concentração nessas condições, promoveu a diminuição da taxa de desidratação. Isso corrobora com o fato de que a resistência externa à transferência de massa é regida, principalmente, pela viscosidade da solução, que aumenta com a concentração em grau mais elevado a baixas temperaturas.

Sacchetti, Gianotti e Dalla Rosa (2001), ao estudarem o efeito da temperatura

durante a desidratção osmótica de maçãs em soluções contendo cloreto de sódio e sacarose, obtiveram que a temperatura apresentou efeito somente acima de 22 °C e que a concentração de sacarose apresentou efeito positivo sobre a taxa inicial de desidratção ($1/K_{l,w}$). Por sua vez, em temperaturas mais elevadas (acima de 30 °C), o aumento da concentração promoveu a elevação das taxas iniciais do processo, em virtude do efeito da concentração sobre a atividade de água ser mais pronunciado frente à resistência representada pela viscosidade da solução à transferência de massa, nestas condições.

Nas soluções de xarope de milho, verificou-se que as taxas iniciais de perda de água obtidas se ajustaram bem para ambos os modelos (Tabela 5.20). Conforme os critérios discutidos anteriormente, escolheu-se o modelo linear por apresentar dois critérios superiores ao modelo quadrático (maior R^2 e menor valor de P). A representação gráfica do modelo linear (Eq. 5.5) para a taxa inicial de perda de água nas soluções de xarope de milho é mostrada na Figura 5.20(a).

$$\left. \frac{dPA}{dt} \right|_{t=0}^{xarope} = 0,6069 + 0,1055.C + 0,1665.T + 0,1060.C.T \quad (5.5)$$

Ainda analisando os dados da Tabela 5.20, verificou-se que em soluções de xarope de milho, as taxas iniciais de ganho de sólidos se ajustaram ao modelo de primeira ordem com 90% de confiança. Contudo, é importante ressaltar que o valor de F_{calc} foi apenas cerca de duas vezes superior ao valor de F_{tab} e explica apenas 86% das variações verificadas para a resposta em questão. Por outro lado, ele apresentou um desvio relativo médio (P) de apenas 4,3%. Assim, considerou-se o modelo linear (Equação 5.6) preditivo, cuja superfície de resposta é apresentada na Figura 5.20(b).

$$\left. \frac{dGS}{dt} \right|_{t=0}^{xarope} = 0,0534 - 0,0044.T - 0,0078.C.T \quad (5.6)$$

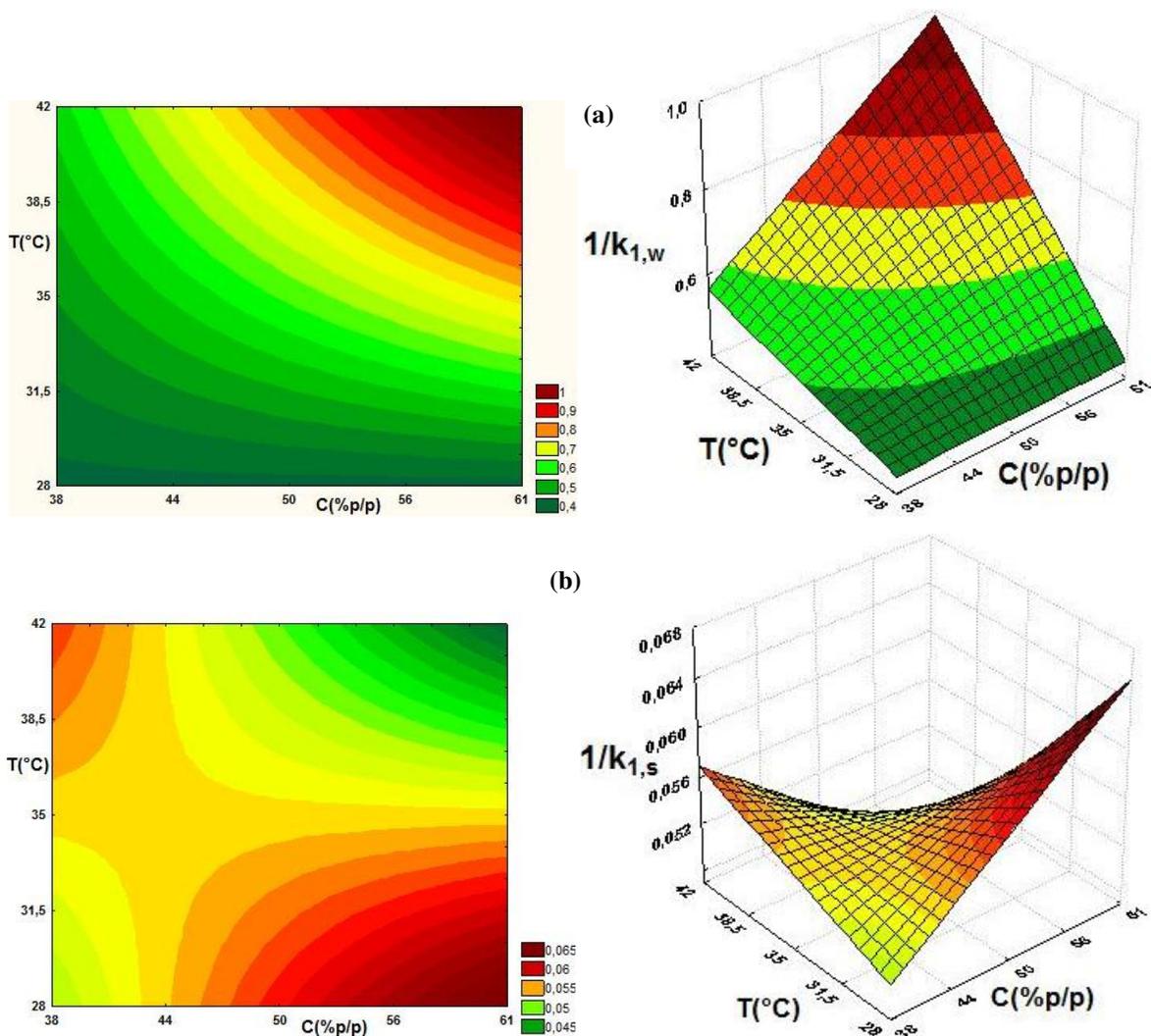


Figura 5.20 - Influência da temperatura e concentração das soluções de xarope de milho sobre a taxa inicial de desidratação ($1/K_{1,w}$) e de impregnação ($1/K_{1,s}$), (a) e (b), respectivamente.

Na Figura 5.20 (a), observa-se que o comportamento dos parâmetros $1/K_{1,w}$ (taxa inicial de desidratação) obtidos nas soluções de xarope de milho foi semelhante aos obtidos em soluções de sacarose. Contudo, não foi verificado o mesmo efeito negativo da concentração da solução a baixas temperaturas, como observado nas soluções de sacarose. O efeito da concentração de xarope de milho foi menos pronunciado em baixas temperaturas e, em altas temperaturas, um pronunciado efeito positivo pôde ser observado.

Para a taxa inicial de ganho de sólidos ($I/K_{I,s}$), foi observado que a baixas concentrações, o aumento da temperatura acelerou o processo de impregnação, contudo verificou-se que a altas concentrações o efeito foi o inverso, ou seja: o aumento da temperatura, nestas condições, desacelerou o processo de impregnação. De forma semelhante, a concentração apresentou efeito positivo a baixas temperaturas e efeito negativo a altas temperaturas (Figura 5.20 b).

5.3.3.3 Valores dos tempos de redução das taxas de desidratação / impregnação

Nas Tabelas 5.21 e 5.22, apresentam-se os resultados da análise estatística aplicada aos valores dos tempos de redução a metade do valor inicial das taxas (tempo de meia vida) obtidos pelo modelo para a desidratação e impregnação, durante a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de sacarose e xarope de milho, respectivamente.

A partir da análise da Tabela 5.21, verificou-se que o modelo linear foi o que melhor se ajustou aos valores de tempo de meia vida obtidos tanto para a perda de água, quanto para o ganho de sólidos. Contudo, o modelo do ganho de sólidos foi considerado não preditivo, pois apresentou um valor P superior a 10%, valor de F_{calc} próximo ao do F_{tab} a 95% de confiança e que apenas 80% das variações verificadas nessa resposta são explicadas pelo modelo proposto.

O modelo que descreve o tempo de meia vida da taxa de desidratação ($t_{1/2,w}$) é dado pela equação 5.7. Na Figura 5.21 é ilustrado o modelo de $t_{1/2,w}$ obtido nas soluções de sacarose.

$$t_{1/2,w}^{sacarose} = 35,8 + 3,2.C - 10,2.T - 8,9.C.T \quad (5.7)$$

Tabela 5.21 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de tempo de meia vida ($t_{1/2}$) obtidos pelo modelo durante a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de sacarose.

Fonte de variação	$t_{1/2,w}$		$t_{1/2,s}$	
	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)
<i>Média</i>	36,8	35,8	49,4	55,4
<i>C</i>	n.s	3,2	n.s	19,6
<i>C</i> ²	n.s	-	n.s	-
<i>T</i>	-9,0	-10,2	n.s	n.s
<i>T</i> ²	n.s	-	n.s	-
<i>C.T</i>	-8,9	-8,9	n.s	16,0
F_{calc}/F_{tab}	8,4	10,0	n.s	1,2
<i>P</i> (%)	6,9	2,7	n.s	16,6
R^2	0,9034	0,9893	n.s	0,8019

n.s: não significativo a 5% de significância ($p > 0,05$); *P*: desvio relativo médio; R^2 : coeficiente de determinação; *C*: concentração da solução (% p/p); *T*: temperatura da solução (°C).

A partir da Tabela 5.22, verificou-se que o modelo linear (equação 5.8) apresentou melhor correlação, menores desvios relativos e maiores valores de F_{calc} em relação ao F_{tab} , a 95% de confiança para descrever o tempo de meia vida da taxa de desidratação em soluções de xarope de milho. Notou-se ainda, que o modelo proposto para descrever o tempo de meia

vida da taxa de impregnação foi considerado não preditivo.

$$t_{1/2,w}^{xarope} = 45,0 + 6,6.C - 13,3.T - 6,3.CT \quad (5.8)$$

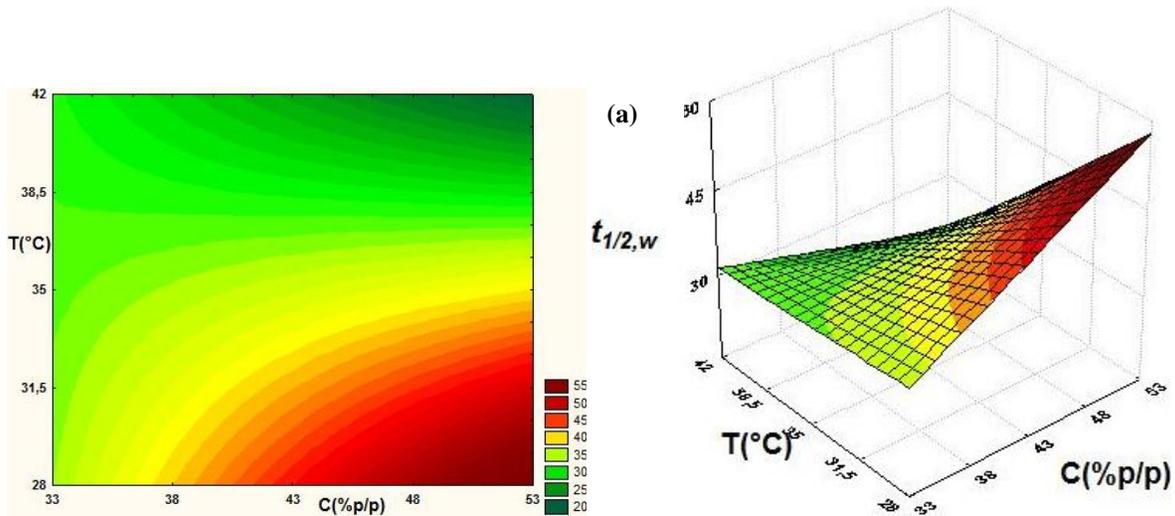


Figura 5.21 - Influência da temperatura e concentração das soluções de sacarose sobre o tempo de meia vida da taxa de desidratação.

Na Figura 5.22, é mostrado o modelo do tempo de meia vida da desidratação, proposto na equação 5.9 ($t_{1/2,w}$) para as soluções de xarope de milho, a 95% de confiança (Tabela 5.22).

Um dos objetivos deste trabalho foi estudar as condições que priorizassem o processo de desidratação frente ao de impregnação. Assim, a determinação do tempo de meia vida do processo de desidratação para cada agente osmótico seria o parâmetro de processo em detrimento ao tempo de meia vida de impregnação, sempre que seu seu valor fosse superior ao obtido para a perda de água, conforme verificado no presente estudo.

Tabela 5.22 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de tempo de meia vida ($t_{1/2}$) obtidos pelo modelo durante a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de xarope de milho.

Fonte de variação	$t_{1/2,w}$		$t_{1/2,s}$	
	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)
<i>Média</i>	43,3	45,0	57,1	53,8
<i>C</i>	n.s	6,6	n.s	n.s
<i>C</i> ²	n.s	-	n.s	n.s
<i>T</i>	-11,7	-13,3	n.s	n.s
<i>T</i> ²	n.s	-	n.s	n.s
<i>C.T</i>	n.s	-6,3	n.s	33,8
$F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}$	3,3	3,1	n.s	6,8
<i>P</i> (%)	11,8	2,9	n.s	22,5
<i>R</i> ²	0,6554	0,9669	n.s	0,8995

n.s: não significativo a 5% de significância ($p > 0,05$); *P*: desvio relativo médio; *R*²: coeficiente de determinação; *C*: concentração da solução (% p/p); *T*: temperatura da solução (°C).

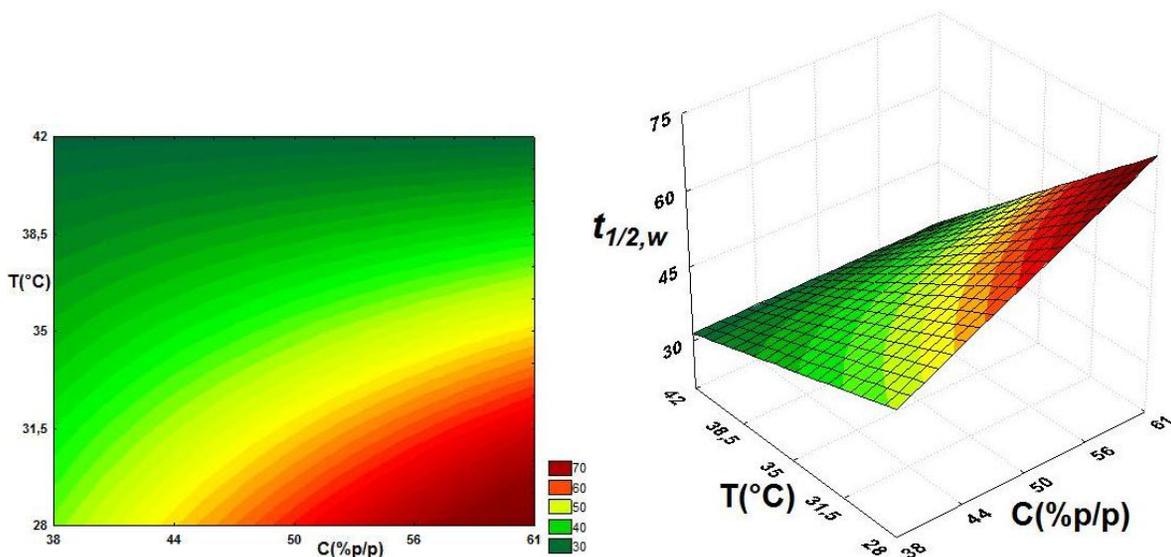


Figura 5.22 - Influência da temperatura e concentração das soluções de xarope de milho sobre o tempo de meia vida da taxa de desidratação.

Pode ser verificada a interação entre a temperatura e concentração da solução no tempo de meia vida, em ambos os tipos de agentes osmóticos utilizados (Figuras 5.21 e 5.22).

O efeito das variáveis sobre o tempo de meia vida da taxa de desidratação mostrou ser mais significativo a altas concentrações e baixas temperaturas; nas menores concentrações, notou-se apenas um ligeiro efeito, indicando que a hipótese de que as variáveis do processo não influenciariam o tempo de meia vida ocorreu em uma faixa relativamente pequena de temperatura e concentração, nas soluções de sacarose (Figura 5.21).

A partir da análise da Figura 5.22, observou-se que o tempo de meia vida para a desidratação ($t_{1/2,w}$) obtido nas soluções contendo xarope de milho, foi afetado principalmente pela concentração, variando de acordo com a temperatura da solução. Como pode ser notado na mesma Figura, em altas temperaturas, a concentração praticamente não apresentou efeito sobre $t_{1/2,w}$, enquanto que em baixas temperaturas, o efeito da concentração foi pronunciadamente positivo.

A temperatura, por sua vez, apresentou efeito negativo sobre o tempo de meia vida de desidratação nas soluções contendo xarope de milho. Ou seja: o aumento na temperatura resulta na diminuição do tempo necessário para que a taxa de desidratação reduza-se a metade do valor inicial, conforme a Figura 5.22.

Desta forma, para cada solução sugere-se que o tempo de processamento seja determinado na condição que resulte no maior valor de tempo de meia vida para a taxa de desidratação. Desta forma, *a priori*, o processamento ocorreria numa dada condição (tipo e concentração de soluto, temperatura, grau de agitação, etc), na qual 90% (no mínimo) da hipótese da taxa de desidratação se reduzir, pelo menos, à metade do seu valor inicial seja assegurada. Tendo em vista que os valores dos coeficientes de determinação (R^2) representam o percentual de explicação pelo modelo, dos valores observados (Tabelas 5.21 e 5.22).

Das Figuras 5.21 e 5.22, concluiu-se, portanto, que 55 e 70 minutos são os tempos de processamento ideais, ao se utilizar o tempo de meia vida baseado na taxa de perda de água, como indicador do grau de variação do potencial de transferência do processo de desidratação osmótica em soluções de sacarose e xarope de milho, respectivamente.

Entretanto, convém ressaltar que quanto maior o tempo de exposição às condições do processamento, maiores os efeitos negativos sobre a qualidade do produto final como degradação de compostos bioativos, carreamento de vitaminas hidrossolúveis para a solução, dentre outros fatores (LAZARIDES, 1994; LENART, 1996; LENART; FLINK, 1984b; PAN et al., 2003; RAOULT-WACK, 1994).

Portanto, é importante que se avalie as condições de temperatura e concentração que forneçam os menores tempos de meia vida para a taxa de desidratação em conjunto com as maiores perdas de água. Caso seja desejada uma maior desidratação dos produtos, pode se utilizar n -reduções do valor inicial da taxa como critério de parada de processo. Consequentemente, o valor do tempo necessário para se obter essas n -reduções ($t_{1/n}$) será superior ao tempo de meia vida, assegurando uma maior extensão do processo de desidratação.

5.3.3.4 Valores de PA e GS obtidos no tempo de meia vida

Com o intuito de se verificar a influência das variáveis temperatura e concentração da solução osmótica na perda de água e no ganho de sólidos, os valores dessas variáveis foram calculados nos tempos de meia vida, obtidos para cada condição estudada e fez-se a regressão desses resultados, segundo o planejamento experimental fatorial utilizado.

Os resultados da análise estatística aplicada aos valores de perda de água e do ganho de sólidos calculados nos respectivos tempos de meia vida das taxas de desidratação e impregnação, de acordo com o modelo proposto, são apresentados nas Tabelas 5.23 e 5.24 para os experimentos realizados em soluções de sacarose e xarope de milho, respectivamente. Verificou-se que os valores de perda de água assim calculados não apresentaram grande variação nas diferentes condições de concentração e temperatura estudadas, em ambos os agentes osmóticos e que os valores de ganho de sólidos foram maiores nas soluções de sacarose.

A partir dos dados apresentados na Tabela 5.23, verificou-se que o modelo quadrático, apesar de apresentar valores de F_{calc}/F_{tab} e P aceitáveis, explicou apenas 69% das variações verificadas para a perda de água e 84% para o ganho de sólidos calculados nos tempos de meia vida de suas respectivas taxas. Para o modelo linear, o coeficiente da concentração da solução foi estatisticamente significativo com 95% de confiança e o coeficiente de interação entre a temperatura e concentração apresentou 90% de confiança. Este modelo (Eq. 5.9) apresentou o F_{calc} cerca de duas vezes maior do que o F_{tab} a 90% de confiança e valor de erro relativo médio (P) abaixo de 10%. Além disso, o modelo explicou cerca de 87% das variações observadas para a perda de água em soluções de sacarose calculada no tempo de meia vida da taxa de desidratação.

$$PA(t_{1/2})^{sacarose} = 16,41 + 1,68.C - 1,28.C.T \quad (5.9)$$

Tabela 5.23 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de perda de água ($PA(t_{1/2})$) e de ganho de sólidos ($GS(t_{1/2})$) calculados no tempo de meia vida, segundo o modelo proposto durante a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de sacarose.

	$PA(t_{1/2})$		$GS(t_{1/2})$	
Fonte de variação	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)
<i>Média</i>	16,06	16,41	4,25	4,49
<i>C</i>	2,18	1,68	1,71	1,85
C^2	n.s	-	-	-
<i>T</i>	n.s	n.s	n.s	0,45
T^2	n.s	-	-	-
<i>C.T</i>	n.s	-1,28*	n.s	0,60
$F_{\text{calc}}/F_{\text{tab}}$	4,0	1,9	9,8	35,4
<i>P</i> (%)	7,3	6,8	10,5	1,2
R^2	0,6929	0,8685	0,8484	0,9970

n.s: não significativo a 5% de significância ($p > 0,05$); * não significativo a 5%, mas significativo a 10% de significância ($p < 0,1$); *P*: desvio relativo médio; R^2 : coeficiente de determinação; *C*: concentração da solução (% p/p); *T*: temperatura da solução (°C)

Ainda da Tabela 5.23, verificou-se que o modelo linear (Equação 5.10) foi o que melhor descreveu o ganho de sólidos nos tempos de meia vida para a taxa de impregnação e na Figura 5.23 (a) e (b) são apresentados os modelos de $PA(t_{1/2})$ e $GS(t_{1/2})$ em função da

temperatura e da concentração de sacarose.

$$GS(t_{1/2})^{sacarose} = 4,49 + 1,85.C + 0,45.T + 0,60.C.T \quad (5.10)$$

Tabela 5.24 - Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) do modelo codificado para os valores de perda de água ($PA(t_{1/2})$) e de ganho de sólidos ($GS(t_{1/2})$) calculados no tempo de meia vida, segundo o modelo proposto durante a desidratação osmótica de melão *orange* em soluções de xarope de milho.

	$PA(t_{1/2})$		$GS(t_{1/2})$	
Fonte de variação	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)	Coeficientes de Regressão (2ª ordem)	Coeficientes de Regressão (1ª ordem)
<i>Média</i>	19,20	18,41	2,10	2,22
<i>C</i>	6,67	4,43	n.s	n.s
C^2	-3,62	-	n.s	-
<i>T</i>	n.s	n.s	n.s	n.s
T^2	n.s	-	n.s	-
<i>C.T</i>	n.s	n.s	n.s	0,38
F_{calc}/F_{tab}	6,9	7,8	n.s	1,3
<i>P</i> (%)	16,2	4,7	n.s	16,0
R^2	0,8854	0,9119	n.s	0,6290

n.s: não significativo a 5% de significância ($p > 0,05$); *P*: desvio relativo médio; R^2 : coeficiente de determinação; *C*: concentração da solução (% p/p); *T*: temperatura da solução (°C).

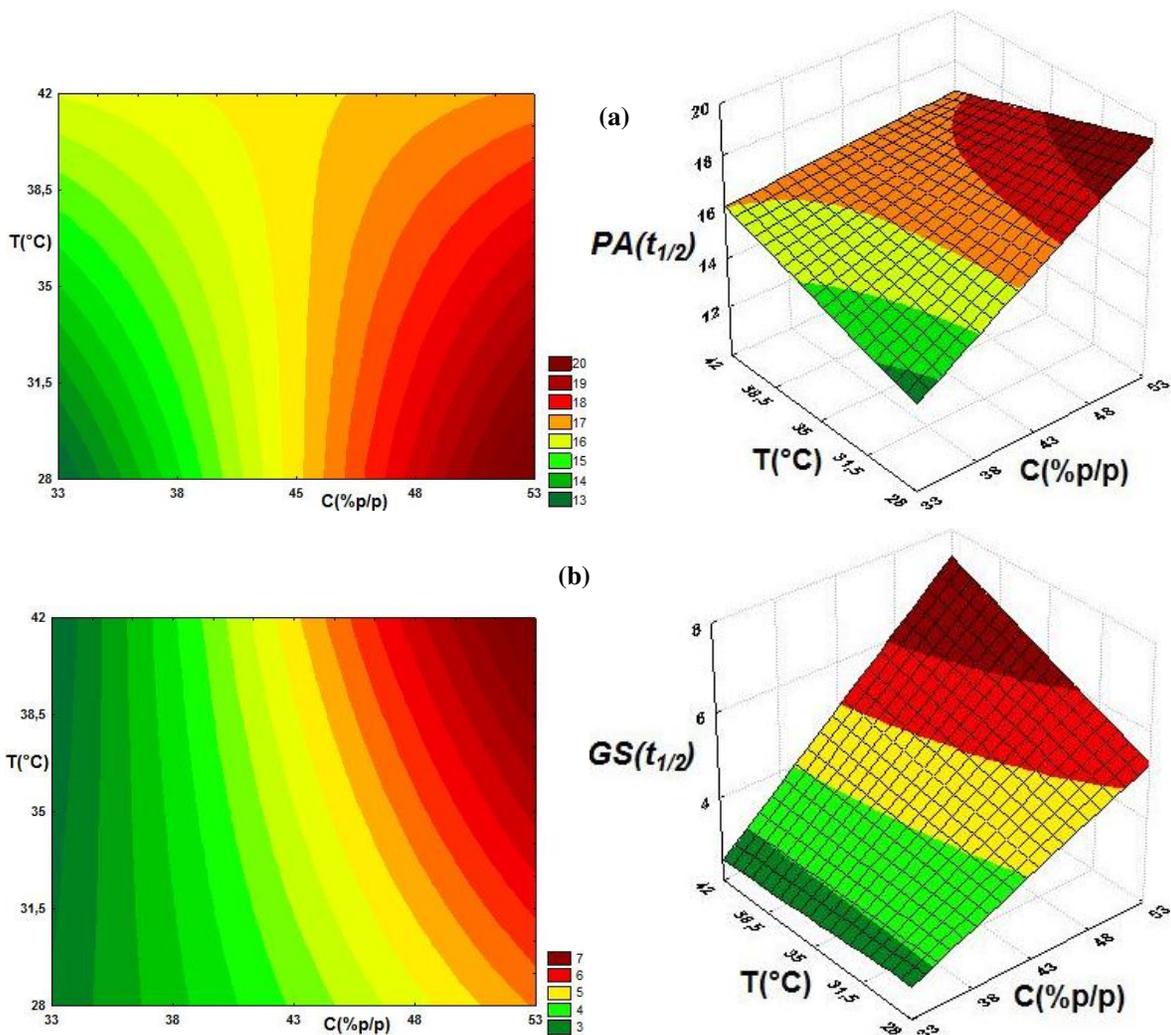


Figura 5.23 - Influência da temperatura e concentração das soluções de sacarose sobre a perda de água (a) e o ganho de sólidos (b) calculados no tempo de meia vida.

Notou-se que, nos tempos de meia vida, os maiores valores de perda de água foram obtidos nas maiores concentrações e menores temperaturas da solução de sacarose, enquanto que para o ganho de sólidos os maiores valores foram obtidos nas maiores concentrações e temperaturas (Figura 5.23). É importante frisar que o mesmo comportamento foi observado para os valores preditos no equilíbrio (Figura 5.17).

Nas soluções de xarope de milho (Tabela 5.24), foi verificado que o modelo linear

foi também o que melhor representou os valores de perda de água preditos pelo modelo no tempo de meia vida da taxa de desidratação e que apenas a concentração do xarope de milho foi estatisticamente significativa nessa resposta. Percebeu-se também que os valores de $GS(t_{1/2})$ não foram satisfatoriamente representados pelos modelos estatísticos propostos. Desta maneira, apenas o modelo linear (Equação 5.11) da perda de água foi apresentado na Figura 5.24.

$$PA(t_{1/2})^{xarope} = 18,41 + 4,43.C \quad (5.11)$$

Analisando a Figura 5.24, ficou evidente que apenas a concentração influenciou $PA(t_{1/2})$ e que os maiores valores foram obtidos nas altas concentrações de xarope de milho.

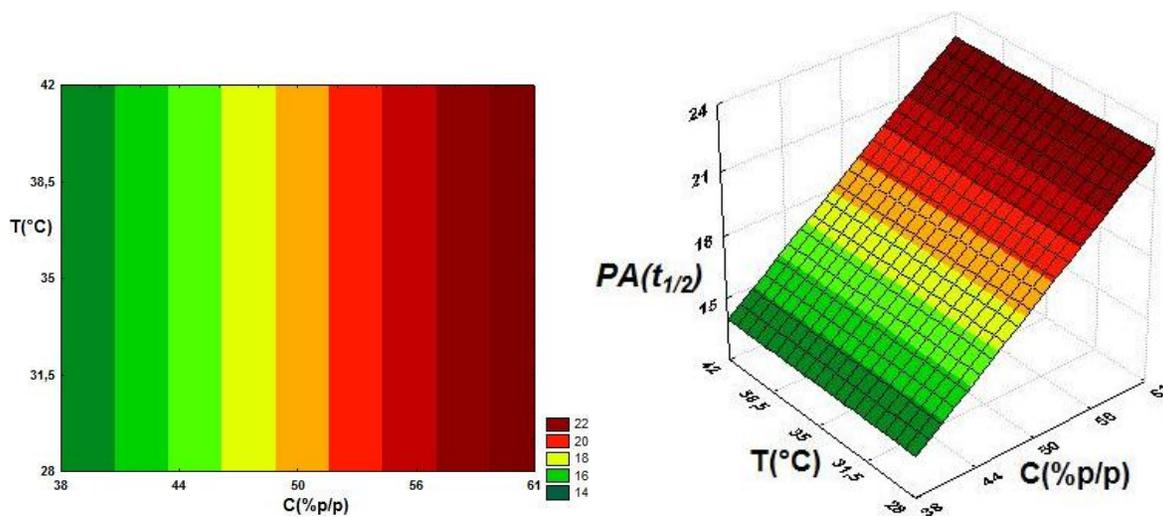


Figura 5.24 - Influência da temperatura e concentração das soluções de xarope de milho sobre a perda de água calculada no tempo de meia vida.

5.3.3.5 Determinação das melhores condições de temperatura e concentração das soluções

Com o intuito de se proceder com o estudo sobre o efeito do processamento na qualidade da fruta processada, buscou-se determinar as melhores condições de temperatura e concentração das soluções de sacarose e xarope de milho de acordo com o modelo cinético proposto. Estas condições seriam aquelas que fornecessem os menores tempos de meia vida e os maiores valores de perda de água aliados aos menores ganhos de sólidos obtidos nos respectivos tempos de meia vida.

Verificou-se que os menores tempos de meia vida para a taxa de desidratação foram obtidos nos maiores valores de concentração e temperatura das soluções de sacarose (Figura 5.21). Entretanto, analisando a Figura 5.23, percebeu-se que, nestas condições, obtiveram-se os maiores valores de ganho de sólidos. Enquanto que os maiores valores de perda de água foram obtidos nas maiores concentrações e menores temperaturas.

Nas soluções contendo xarope de milho, observou-se um comportamento semelhante ao verificado para as soluções de sacarose. Contudo, em altas temperaturas, a concentração praticamente não influenciou o tempo de meia vida da taxa de desidratação (Figura 5.22). A perda de água calculada no tempo de meia vida, por sua vez, não sofreu influência da temperatura. Em altas concentrações foram obtidos os maiores valores de perda de água (Figura 5.24).

É importante frisar que os modelos do tempo de meia vida e do ganho de sólidos calculados em função da impregnação não foram estatisticamente significativos de acordo com as Tabelas 5.22 e 5.24.

Levando-se em consideração os aspectos econômicos envolvidos na escolha de processos a baixas temperaturas e, de acordo com a discussão anterior, as condições escolhidas para se prosseguir com o estudo da qualidade dos produtos processados foram aquelas com maiores concentrações e menores temperaturas das soluções de sacarose e de

xarope de milho. A saber: 53% de sacarose e 61% de xarope de milho, ambas a 28 °C.

5.3.3.5.1 Cinéticas de PA, GS e a_w obtidos nos tempos de n -reduções

Na Figura 5.25 são apresentados os resultados experimentais de perda de água, ganho de sólidos e da atividade de água encontrados nos tempos de n -reduções ($n= 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ e ∞) da taxa de desidratação nas condições de concentração e temperatura determinados anteriormente, para as soluções osmóticas de sacarose e de xarope de milho. Os tempos de n -reduções foram obtidos a partir das Equações 4.18 e 4.19, em conjunto com as Equações 5.7 e 5.8, respectivamente para as soluções de sacarose e xarope de milho.

Os resultados de perda de água obtidos nas condições descritas acima, ao se utilizar sacarose ou xarope de milho como agente desidratante, foram comparados ($p<0,05$) e não apresentaram diferenças significativas. Entretanto, conforme pode ser observado na Figura 5.25, foi verificada uma maior impregnação nas amostras desidratadas osmoticamente com sacarose, o que resultou nas menores atividades de água encontradas nessas amostras.

A utilização dos tempos de n -reduções na definição dos tempos de processamento evidenciaram que os efeitos antagônicos à transferência de massa da água, representados pelo potencial de transferência (atividade de água) e pela resistência à transferência (viscosidade, natureza química e física dos solutos e suas interrelações com a parede celular do produto) apresentaram um comportamento similar, ao se utilizar tanto a sacarose quanto o xarope de milho como agentes desidratantes, conforme pode ser notado na Figura 5.25.

Contudo, o mesmo não foi verificado para o ganho de sólidos, cujos maiores valores observados ao se utilizar sacarose explicam os menores valores de atividade de água observados nas amostras desidratadas osmoticamente com esse soluto. Pois, apesar de terem sido verificadas perdas de águas semelhantes, a atividade de água das amostras está diretamente relacionada à sua disponibilidade, o que é reduzido em função da maior quantidade de sólidos nas amostras desidratadas com sacarose.

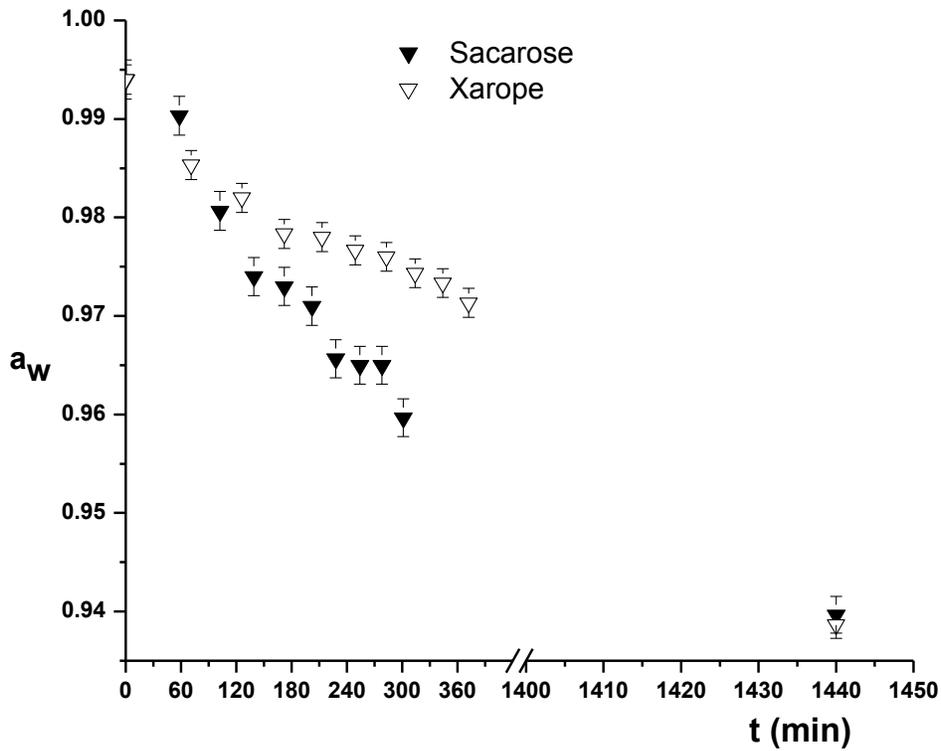
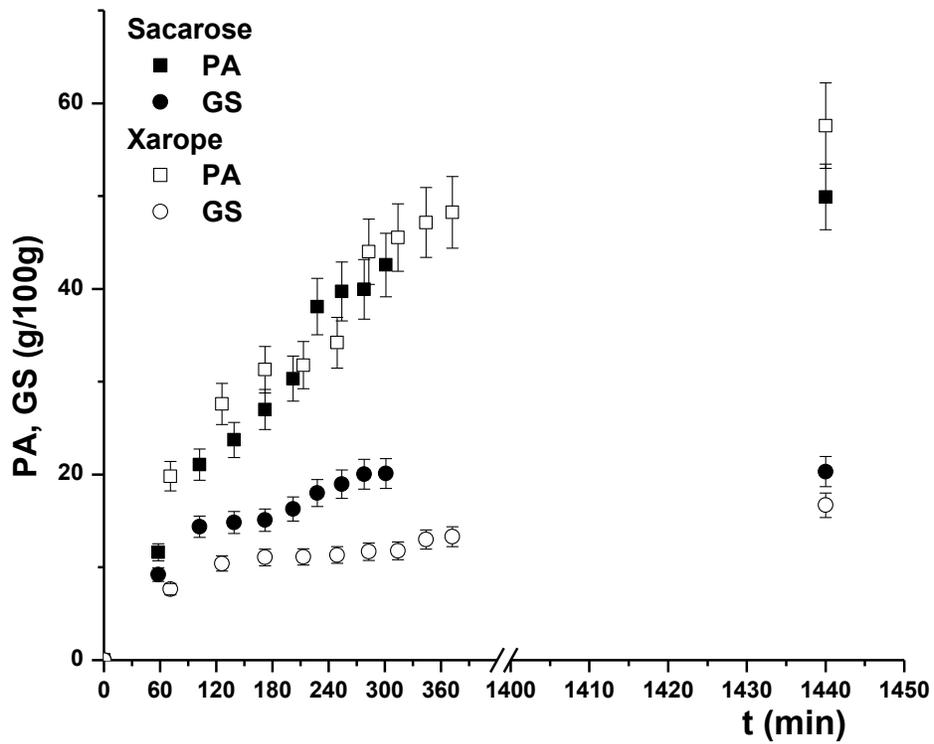


Figura 5.25 - Perda de água, ganho de sólidos e atividade de água nos diferentes tempos de n-redução da taxa de desidratação.

Giovanelli, Brambilla e Sinelli (2013) avaliaram o efeito do agente desidratante (sacarose e mistura de frutose/glicose, com mesma atividade de água, 0,90), durante a desidratação osmótica de mirtilo. Os autores verificaram que, apesar de submetidas às mesmas atividades de água, as amostras desidratadas com a mistura de glicose/frutose sofreram uma maior impregnação do que as desidratadas em soluções de sacarose e, conseqüentemente menores valores de atividade de água.

Contudo, verificou-se que, após 24 horas de processamento, os produtos desidratados em ambos os solutos apresentaram valores de atividade de água similares (0,940). Esta diferença inicial dos valores de atividade de água de um mesmo produto desidratado em soluções com mesma atividade de água e diferentes solutos pode ser explicada pelo fato de os solutos não se difundem tão facilmente quanto a água através da membrana celular e, conseqüentemente, o equilíbrio da transferência da água e dos solutos ocorrerá em diferentes instantes do processo, levando a diferentes atividades de água, até que ambos processos difusivos atinjam o equilíbrio.

Na Figura 5.26 são apresentados os resultados experimentais da cinética da composição dos açúcares (frutose, glicose, sacarose e maltose) e da doçura relativa (ADR) das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose (a) de xarope de milho (b).

Nas amostras desidratadas osmoticamente em solução de sacarose (Figura 5.26a), verificou-se uma redução nos teores de glicose (159,3 a 123,1 mg/g) e de frutose (229,7 a 160,0 mg/g), em contrapartida houve um aumento substancial na concentração de sacarose, de 401,6 até 2199,4 mg/g (em base seca inicial). Já nas processadas em xarope de milho (Figura 5.26b), a frutose e a sacarose sofreram redução em suas concentrações, de 229,7 a 129,5 mg/g e de 401,6 a 311,2 mg/g, respectivamente, enquanto que os teores de glicose foram aumentados (159,3 a 220,5 mg/g) e houve uma substancial incorporação de maltose do xarope para o melão (0 a 102,3 mg/g) ao longo do processo.

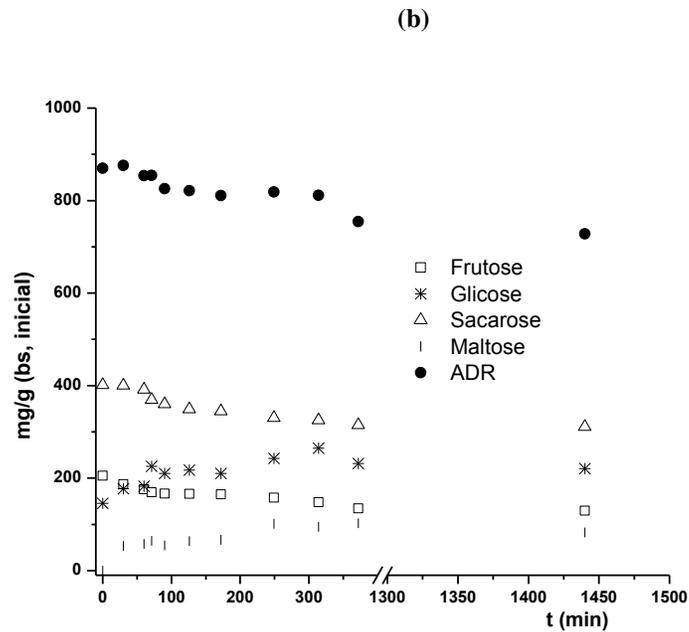
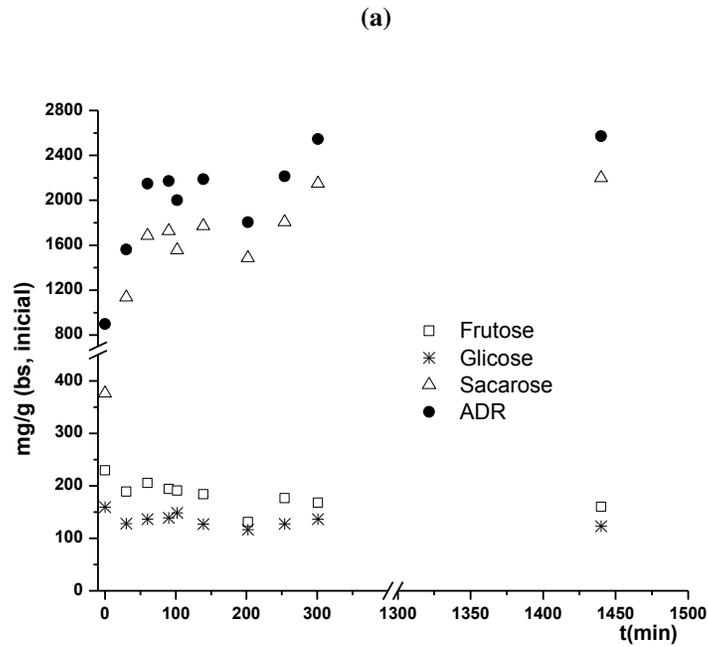


Figura 5.26 - Cinética da variação da composição de carboidratos (obtidos por CG-FID) e da doçura relativa (ADR) das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose (a) e de xarope de milho (b), utilizando os tempos de n -redução da taxa de desidratação.

O balanço dos fluxos dos açúcares determinados cromatograficamente foi similar ao ganho de sólidos medido gravimetricamente apenas para as soluções de sacarose. Para as soluções de xarope de milho, os açúcares representaram cerca de 25% dos ganhos de sólidos totais. Esta diferença provavelmente, deveu-se aos oligo- e polissacarídeos presentes no xarope de milho, que não foram determinados pelo método cromatográfico utilizado ($GF \geq 3$). Dependendo do grau de polimerização dos xaropes de milho (DE 21), pode-se encontrar até 80% em massa de carboidratos com $GF \geq 3$ (SANTCHURN; COLLIGNAN; TRYSTRAM, 2007).

O efeito dessas alterações na composição dos açúcares presentes nas amostras desidratadas fica mais evidente na análise da doçura relativa (ADR). Nas amostras desidratadas em soluções de xarope de milho, notou-se um ligeiro decréscimo na doçura relativa das amostras. Enquanto que naquelas desidratadas em soluções de sacarose, houve um significativo aumento da doçura relativa com o tempo de processamento. As amostras obtidas no tempo de meia vida apresentaram duas vezes mais dulçor e aquelas nos tempos subsequentes apresentaram dulçor três vezes maior do que a amostra *in natura*.

Monsivais, Perrigue e Drewnowski (2007) avaliaram a influência da substituição da sacarose por xarope de alta concentração de frutose (HFS) na doçura de refrigerantes a base de cola. Os autores concluíram não haver diferenças significativas entre esses diferentes xaropes. Além da controvérsia entre os efeitos da substituição da sacarose por HFS no aumento da obesidade (RIPE, 2012; WHITE, 2008), a utilização de xarope de milho com baixo teor de frutose (como no presente trabalho) apresentou um potencial efeito na redução da umidade dos produtos, sem contudo alterar sua doçura relativa.

5.3.3.5.2 Cinéticas de cor, teor de carotenoides totais e capacidade antioxidante

Na Tabela 5.25 são apresentados os resultados experimentais das cinéticas das análises instrumentais das coordenadas de cor (L^* , a^* , b^*) e na Tabela 5.26 os valores das variações do croma (C^*), ângulo hue (H^*), variação global da cor (ΔE) e teor de carotenoides totais (CT) das amostras de melão orange desidratadas osmoticamente nos tempos de n-redução das taxas de desidratação ($n = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$ e ∞), nas condições estabelecidas de concentração e temperatura das soluções de sacarose e de xarope de milho.

Verificou-se que o processo osmótico exerceu um pequeno impacto sobre as coordenadas de cor dos produtos processados. A luminosidade (L^*) das amostras praticamente não apresentou diferenças significativas até o tempo de 3 reduções da taxa de desidratação ($t_{1/3}$) para a sacarose e 2 reduções ($t_{1/2}$) para o xarope de milho. As coordenadas de cor a^* (do verde (-) ao vermelho (+)) e b^* (do amarelo (-) ao azul (+)) praticamente mantiveram-se invariáveis durante o processo para ambos os solutos, apresentando pequenas oscilações estatisticamente significativas, provavelmente devidas às variações naturais da coloração entre as próprias amostras e não ao processo de desidratação osmótica (Tabela 5.25).

Tabela 5.25 - Análise instrumental de cor (CIELab) das amostras de melão *orange* desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose (S) e xarope de milho (X), nos tempos de *n-redução* da taxa de desidratação ($t_{1/n}$).

$t_{1/n}$	X		S		X		S	
	L*		a*		b*			
0	60,75±0,46 a	61,22±0,28 B	14,54±0,60 e	15,62±0,37 D,E	34,38±1,56 c	34,80±1,35 D		
$t_{1/2}$	56,96±1,76 a,b,c	63,01±0,73 A	14,55±0,57 e	21,68±0,81 A	32,59±0,73 d	41,44±1,50 A		
$t_{1/3}$	54,47±1,22 d	61,33±1,25 B	16,16±0,35 c,d	19,90±0,57 B	34,56±0,48 c	39,73±0,43 B		
$t_{1/4}$	52,11±1,23 d	56,67±0,83 D	14,67±0,45 d,e	20,27±0,62 B	33,92±1,25 c,d	42,61±1,30 A		
$t_{1/5}$	54,46±1,34 d	58,72±0,16 C,D	15,53±0,21 c,d,e	15,23±0,29 D,E	34,42±0,61 c	34,81±0,61 D		
$t_{1/6}$	58,42±1,54 b,c	56,96±1,72 D	15,10±0,53 e	14,95±1,33 E	34,75±0,94 c	32,94±2,47 E		
$t_{1/7}$	61,47±1,85 a	56,35±1,18 D	17,21±1,20 b	21,62±0,99 A	40,82±1,47 a	42,56±1,29 A		
$t_{1/8}$	58,30±1,03 b, c	58,89±1,89 C	18,25±0,98 a,b	15,99±0,37 D,E	40,46±0,77 a	35,20±0,82 C,D		
$t_{1/9}$	57,27±1,30 b,c	57,28±1,91 D	18,73±1,14 a	16,97±0,47 C	41,89±1,07 a	36,40±0,46 C,D		
$t_{1/10}$	61,14±2,53 a	58,91±1,62 C	18,30±0,4 a,b	16,85±0,73 C,D	40,60±1,52 a	36,34±0,81 C,D		
$t_{1/\infty}$	52,67±2,53 d	53,44±1,74 E	17,51±1,10 b	15,03±0,59	36,16±1,89 b	32,78±1,11 E		

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si para $p < 0,05$.

Tabela 5.26 - Resultado do croma (C*), ângulo hue (H*), variação global da cor (ΔE) e teor de carotenoides totais (CT) das amostras de melão *orange* desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose (S) e xarope de milho (X), nos tempos de *n-redução* das taxas de desidratação ($t_{1/n}$).

$t_{1/n}$	C*		H*		ΔE		CT($\mu\text{g/g}$, BS)	
	X	S	X	S	X	S	X	S
0	37,33 \pm 1,67	38,15 \pm 1,40	67,08 \pm 0,08	65,82 \pm 0,32	0,00	0,00	290,24 \pm 2,52	320,62 \pm 5,52
$t_{1/2}$	38,45 \pm 0,93	46,77 \pm 1,70	65,94 \pm 0,37	62,39 \pm 0,03	4,65 \pm 1,57	9,16 \pm 1,03	188,83 \pm 6,36	256,27 \pm 1,87
$t_{1/3}$	38,15 \pm 0,59	44,44 \pm 0,71	64,94 \pm 0,17	63,40 \pm 0,41	6,49 \pm 1,86	6,53 \pm 1,84	191,00 \pm 11,83	214,39 \pm 16,29
$t_{1/4}$	36,96 \pm 1,33	47,18 \pm 1,44	66,61 \pm 0,13	64,56 \pm 0,01	8,65 \pm 1,14	10,15 \pm 1,17	185,84 \pm 9,61	233,72 \pm 2,81
$t_{1/5}$	37,76 \pm 0,65	37,99 \pm 0,68	65,72 \pm 0,09	66,37 \pm 0,03	6,37 \pm 1,79	2,74 \pm 1,18	204,63 \pm 15,55	207,32 \pm 18,73
$t_{1/6}$	37,89 \pm 1,08	36,17 \pm 2,81	66,51 \pm 0,17	65,59 \pm 0,30	3,05 \pm 1,36	4,69 \pm 0,48	199,33 \pm 7,62	232,32 \pm 7,17
$t_{1/7}$	44,30 \pm 1,90	47,73 \pm 1,63	67,14 \pm 0,69	63,07 \pm 0,36	6,39 \pm 0,84	10,94 \pm 0,95	181,73 \pm 15,17	259,86 \pm 8,52
$t_{1/8}$	44,39 \pm 1,25	38,67 \pm 0,90	65,72 \pm 0,74	65,57 \pm 0,01	7,53 \pm 1,49	2,69 \pm 1,59	178,41 \pm 9,56	230,03 \pm 23,63
$t_{1/9}$	45,89 \pm 1,56	40,16 \pm 0,66	65,91 \pm 0,75	65,00 \pm 0,33	8,97 \pm 1,14	4,79 \pm 1,88	139,20 \pm 2,97	257,09 \pm 8,23
$t_{1/10}$	44,53 \pm 1,90	40,06 \pm 1,09	65,74 \pm 0,53	65,13 \pm 0,46	6,60 \pm 1,27	3,38 \pm 1,43	162,58 \pm 2,98	225,46 \pm 9,45
$t_{1/\infty}$	40,18 \pm 2,19	36,06 \pm 1,26	64,16 \pm 0,24	65,37 \pm 0,12	9,17 \pm 1,11	8,25 \pm 1,21	184,17 \pm 8,42	242,90 \pm 12,05

A partir dos dados apresentados na Tabela 5.26, verificou-se um comportamento oscilatório da variação global da cor (ΔE) em função do tempo de processamento e que, em geral, as amostras processadas em soluções de sacarose apresentaram maiores variações globais de cor. Entretanto, a partir do tempo de 8 reduções da taxa de desidratação ($t_{1/8}$), esse comportamento se inverte e as amostras desidratadas em xarope de milho apresentam maiores variações de cor.

A variação no teor de carotenoides totais nas amostras processadas em ambos os solutos praticamente não foi influenciada pelo tempo de processamento a partir do tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), entretanto as amostras processadas tiveram uma sensível redução no teor desses fitoquímicos em relação as amostras *in natura* (Tabela 5.26).

É importante ressaltar que a cor das amostras avaliadas neste estudo está diretamente relacionada ao teor dos carotenoides e sua interação com os sólidos presentes no processo (açúcares, ácidos orgânicos, etc). No processo osmótico, a redução do seu teor se encontra basicamente relacionada ao processo de lixiviação promovido pelo fluxo de água, já que a polaridade da solução não é suficiente para dissolver essas substâncias; apenas uma pequena fração provavelmente é levada pela água em função da ruptura das organelas celulares durante o processo. Sendo assim, esse fenômeno sofreria variações aleatórias durante o processo, explicando esse comportamento aleatório tanto da variação de cor quanto do teor de carotenoides. Contudo, estudos em nível celular, utilizando microscópicos confocais deverão ser utilizados para confirmar esta afirmação.

Tonon, Baroni e Hubinger (2007) e Heredia et al. (2009) estudaram o efeito combinado de sacarose e cloreto de sódio sobre o teor de carotenoides (licopeno e β -caroteno) e reportaram valores maiores destes fitoquímicos nas amostras desidratadas. Em ambos os trabalhos foi sugerida a possibilidade de que a biogênese dos carotenoides em tomates seja favorecida durante o processamento nessas condições, embora reconheçam a necessidade de estudos posteriores para comprovar esta hipótese.

Krokida, Maroulis e Saravacos (2001) avaliaram o efeito do processamento

osmótico sobre as coordenadas cromáticas de cenoura, batata, maçã e banana e concluíram que os parâmetros L^* e a^* praticamente não sofreram influência do processo, enquanto que b^* apresentou um ligeiro aumento em função do tempo de processamento em todos os vegetais.

Kowalski e Mierzwa (2013) concluíram que o processo osmótico apresentou um efeito desprezível sobre a coloração de maçãs processadas, tanto sensorial quanto instrumentalmente.

Nas Figuras 5.27 a 5.29 são apresentados os resultados obtidos do efeito do processo de desidratação osmótica sobre os teores de compostos fenólicos totais (TPC), poder de redução do ferro (FRAP) e capacidade de seqüestro do radical DPPH* das amostras de melão *orange-fleshed honeydew* processadas, nos tempos de n-redução da taxa de desidratação, proposto no presente trabalho.

É importante ainda destacar que no presente trabalho foi utilizada a massa inicial como referência, visando considerar apenas os efeitos do processo sobre o composto/propriedade, visto que os efeitos da transferência de massa (entrada de sólidos e saída de água) alteram tanto a quantidade de sólidos quanto a de água na amostra ao longo do processo de desidratação osmótica.

De modo geral, observou-se que os resultados da capacidade antioxidante expressos em TROLOX® equivalentes (TE) forneceram os maiores valores (Figuras 5.27 a 5.29) e apenas nos ensaios de DPPH, a utilização do ácido ascórbico forneceu valores similares aos obtidos pelo TROLOX®. Embora isso não altere o resultado em termos de avaliação do efeito do processo sobre a capacidade antioxidante dos alimentos, indica a importância do mecanismo de ação nessas metodologias. É sabido que as estruturas químicas destes compostos estão diretamente relacionadas à sua capacidade, tanto de participar em reações de oxidação/redução (TPC/FRAP), quanto de quelar e/ou sequestrar o radical livre (FRAP/DPPH). Assim, o ácido gálico por apresentar os menores valores equivalentes em todos os ensaios, demonstrou, estequiometricamente, a maior capacidade de realizar essas funções.

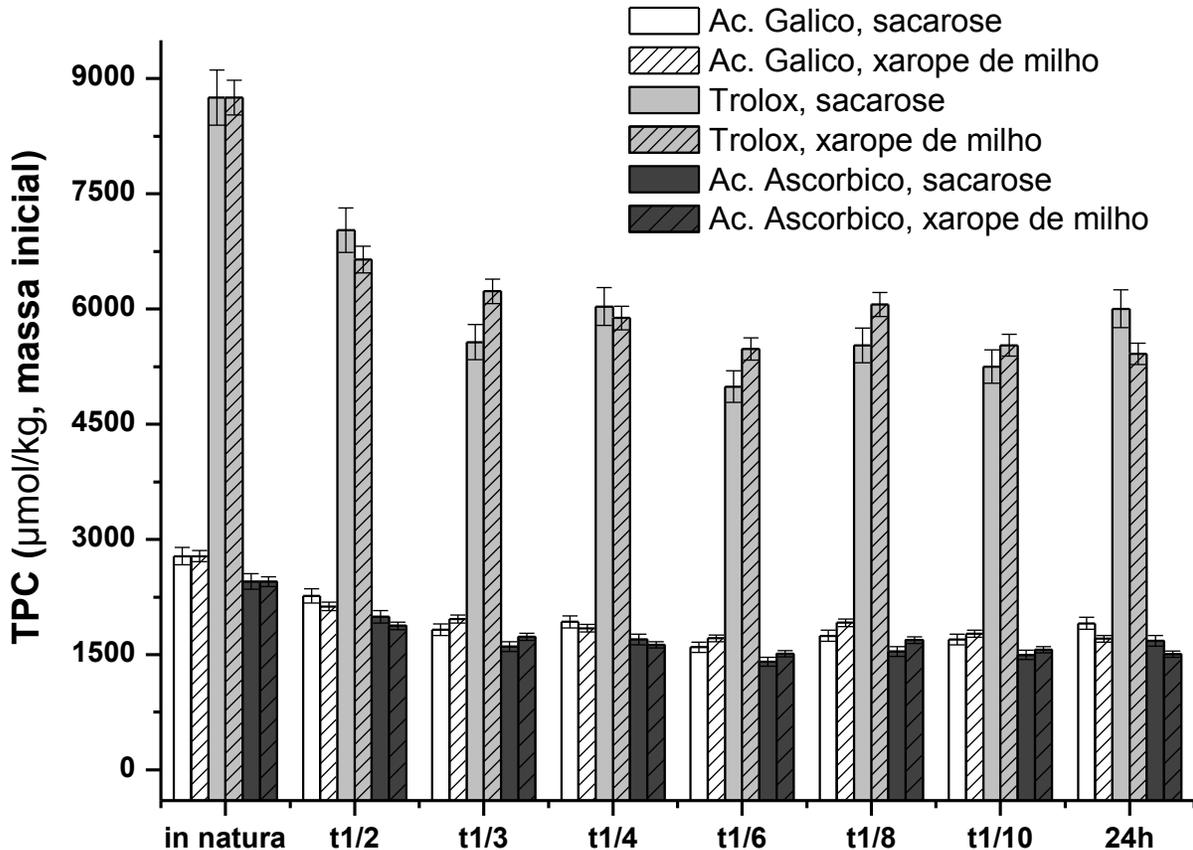


Figura 5.27 - Efeito do processo sobre o teor de compostos fenólicos totais (TPC) das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de n -redução da taxa de desidratação.

O processo de desidratação osmótica reduziu o teor de compostos fenólicos das amostras processadas, de modo similar em ambos os solutos. Nos instantes relativos ao tempo de 3 e de 6 reduções ($t_{1/3}$ e $t_{1/6}$, respectivamente), houve uma ligeira redução do teor de fenólicos totais nas amostras processadas em sacarose, enquanto que, em xarope de milho, a maior redução foi verificada apenas após o tempo de dez reduções da taxa de desidratação ($t_{1/10}$), cujo valor atingiu um valor próximo ao equilíbrio, 24 horas de processamento (Figura 5.27).

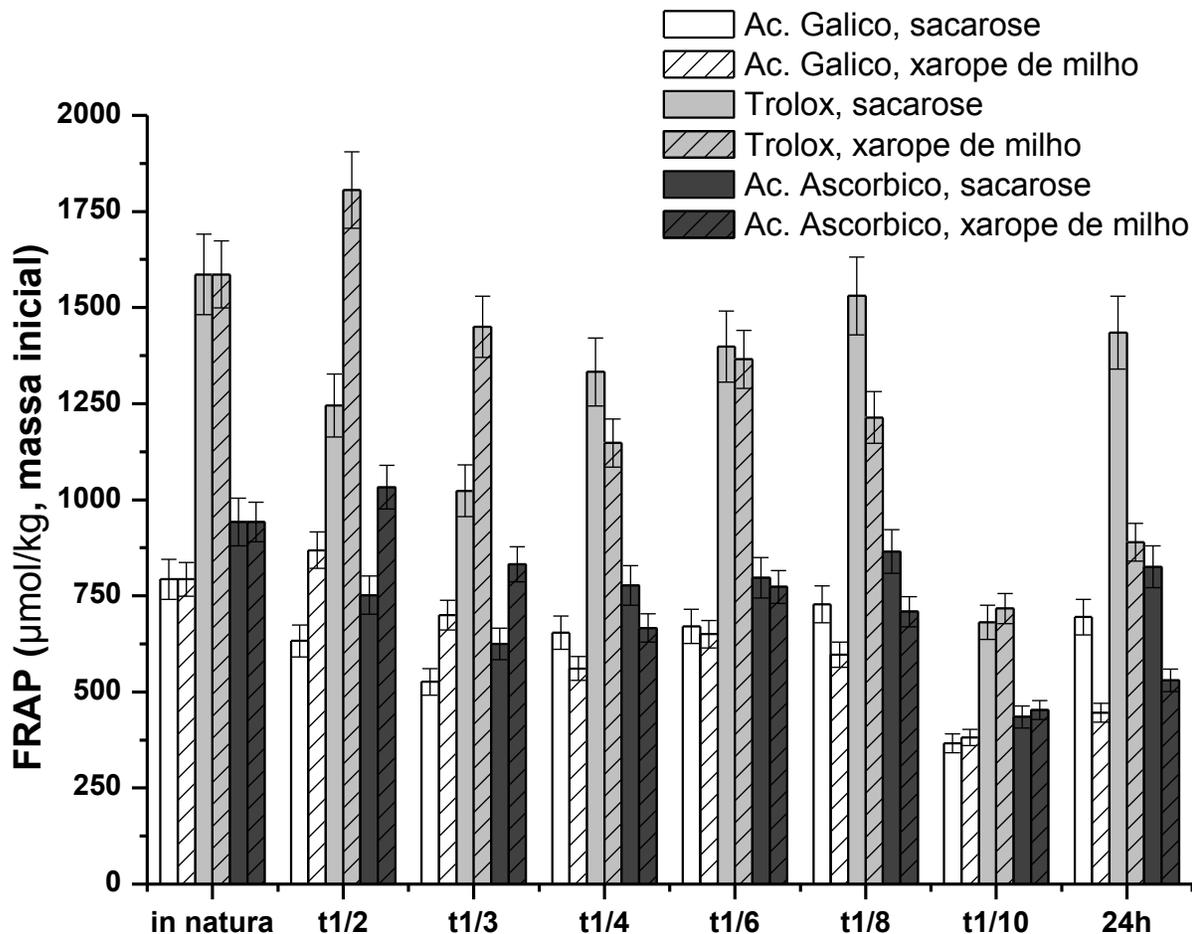


Figura 5.28 - Efeito do processo sobre o poder redutor do ferro II (FRAP) das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de n -redução da taxa de desidratação.

Nos ensaios de FRAP, verificou-se, em soluções de xarope de milho, um acréscimo significativo da capacidade antioxidante nas amostras processadas no tempo de meia vida ($t_{1/2}$), seguido por uma oscilação até 24 horas de processamento. Nas amostras desidratadas em sacarose, verificou-se uma redução até $t_{1/3}$, seguida de um aumento do valor da capacidade antioxidante até o tempo de 8 reduções ($t_{1/8}$), a partir do surge um comportamento oscilatório. Após 24 horas, as amostras processadas em sacarose apresentaram a mesma capacidade antioxidante das amostras *in natura* (Figura 5.28).

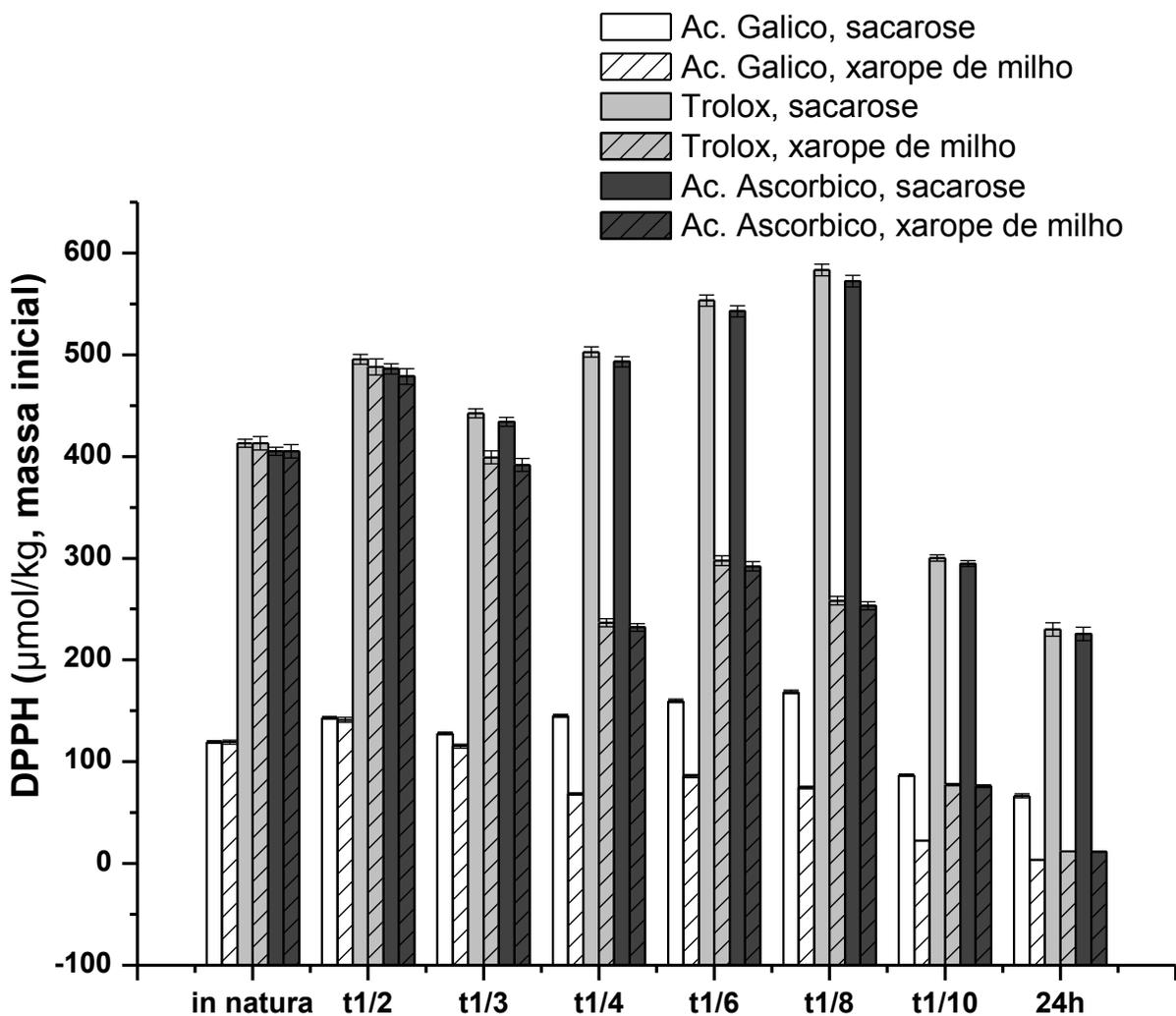


Figura 5.29 - Efeito do processo sobre a capacidade de seqüestro do radical livre orgânico a base de nitrogênio (DPPH) das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de n -redução da taxa de desidratação.

Comparativamente, em termos de capacidade de redução do ferro, as amostras desidratadas em sacarose apresentaram menor capacidade antioxidante até $t_{1/3}$ e maiores nos tempos de 8 reduções da taxa e de 24 horas de processamento. Nos instantes $t_{1/6}$ e $t_{1/10}$, as amostras desidratadas em ambos os solutos apresentaram capacidades antioxidantes semelhantes (Figura 5.28).

Em relação aos ensaios de DPPH, observou-se uma ligeira oscilação na capacidade antioxidante até $t_{1/3}$ para a sacarose, a partir do qual notou-se uma progressiva elevação até o $t_{1/8}$, seguida de uma redução até 24 horas de processamento. Nas soluções de xarope, as amostras apresentaram um acréscimo na capacidade no $t_{1/2}$, seguido por uma redução até o tempo de 4 reduções ($t_{1/4}$), seguido por uma oscilação até $t_{1/8}$, a partir do qual, notou-se uma redução progressiva da capacidade antioxidante em termos de DPPH das amostras desidratadas em xarope de milho (Figura 5.29).

De forma geral, as amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose apresentaram maiores capacidades antioxidantes, em termos de DPPH, do que as desidratadas em xarope de milho, exceto aquelas obtidas no tempo de meia vida, em que não houve diferença significativa da capacidade antioxidante das amostras (Figura 5.29).

Este comportamento pode estar relacionado à variação natural dos fitoquímicos na amostra. Conforme fora discutido anteriormente, a concentração dos carotenoides e dos compostos fenólicos (os principais responsáveis pela atividade antioxidante do melão *orange*) em produtos de origem vegetal dependem de diversos fatores, o que leva a uma variação tanto entre diferentes frutas, quanto de acordo com a posição no mesocarpo do fruto (RODRIGUEZ-AMAYA, 2010).

Além disto, os diferentes fluxos de massa, gerados pelos solutos empregados no presente estudo alteram significativamente as concentrações dos fitoquímicos responsáveis pela capacidade antioxidante dos produtos processados. A saída de água reduz a concentração dos compostos tanto hidrossolúveis, quanto dos lipofílicos, através do processo de carreamento. A entrada de sólidos, por sua vez, apresenta três efeitos simultâneos sobre os fitoquímicos:

a) a redução na sua concentração, devido à ruptura das células e aumento do processo de carreamento;

b) a proteção destes mesmos compostos devido à saturação da água, o que reduz o potencial de extração dos fitoquímicos pela água, aliado ao acúmulo superficial de sólidos

que interage física e quimicamente com essas substâncias, durante o processo de desidratação osmótica;

c) Os danos causados à estrutura celular durante o processo de desidratação osmótica melhoram o processo de quantificação dos compostos antioxidantes, aumentando sua concentração nos extratos até um determinado limite (SOGI; SIDDIQ; DOLAN, 2014; NUÑEZ-MANCILLA et al., 2011, 2013).

Por outro lado, naturalmente, as condições do processo (temperatura, oxidação, etc) também reduzem as concentrações dessas substâncias e, conseqüentemente, compensam o aumento da capacidade antioxidante num determinado instante, a partir do qual é verificada uma redução progressiva.

Giovanelli, Brambilla e Sinelli (2013) e Giovanelli et al. (2012) estudaram o efeito da desidratação osmótica sobre os fitoquímicos e a capacidade antioxidante de mirtilos. Em ambos os trabalhos, os autores reportaram que as amostras processadas apresentaram valores superiores às amostras *in natura*. Entretanto, os autores ressaltaram que isso ocorreu devido ao fato de os resultados terem sido expressos em termos de base úmida da amostra processada.

Nuñez-Mancilla et al. (2013) avaliaram o efeito do processo de desidratação assistido por alta pressão sobre a capacidade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais de morangos e observaram um aumento de 21% na capacidade antioxidante nas amostras processadas na mais elevada pressão empregada (400 MPa). Os autores verificaram ainda que o uso de altas pressões hidrostáticas durante a desidratação osmótica aumentou tanto a capacidade antioxidante, quanto o teor de fenólicos das amostras desidratadas.

Esse aumento na capacidade antioxidante de amostras desidratadas osmoticamente já havia sido relatado por outros autores trabalhando com resíduos de uva (CORRALES et al., 2008), melancia (OMS-OLIU et al., 2009), morangos (NUÑEZ-MANCILLA et al., 2011, 2013), que correlacionaram esse aumento à melhoria no processo de extração de alguns compostos antioxidantes nas amostras processadas osmoticamente.

O efeito de outros processos de desidratação sobre a atividade antioxidante de mangas foi avaliada por Sogi, Siddiq e Dolan (2014), que obtiveram valores, que variaram de 34 a 88,6 e de 41 a 81 μmol de TE por g de manga (BS), nos ensaios de DPPH e FRAP, respectivamente. Os maiores valores de capacidade antioxidante foram obtidos nas amostras liofilizadas e os menores nas amostras desidratadas à vácuo.

5.3.3.5.3 Ensaios de compressão uniaxial e microscopia das amostras

No nível macroscópico, as propriedades físicas dos alimentos são afetadas pelas interações existentes entre as moléculas de água e outros componentes presentes nesse complexo sistema. A água, além da função de solvente, possui função estruturante, uma vez que as interações hidrofílicas e hidrofóbicas que surgem com a sua presença dentro das células fazem com que a mesma atue como um agente plasticizante, controlando o movimento entre os componentes presentes no alimento (LEWICKI, 2004; NIETO et al., 2013).

As propriedades físicas dos alimentos estão relacionadas às diferentes interações existentes em sua estrutura. No caso dos alimentos de origem vegetal, as características reológicas de seus tecidos estão intimamente relacionadas ao seu turgor inicial, força e elasticidade das paredes e o grau de adesão entre as células e alguns outros componentes localizados na parte externa das células (NIETO et al., 2013; WALDRON et al., 1997; WALDRON; PARKER; SMITH, 2003).

Na Figura 5.30 são apresentadas as curvas de tensão vs deformação obtidas nas amostras *in natura* e osmoticamente desidratadas em soluções de sacarose e xarope de milho nos tempos de *n*-reduções. As amostras desidratadas em ambos os solutos apresentaram aumento na tensão de ruptura e na deformação em função do tempo de processamento, indicando que o processo intensificou a rigidez e a resistência à deformação dos melões estudados.

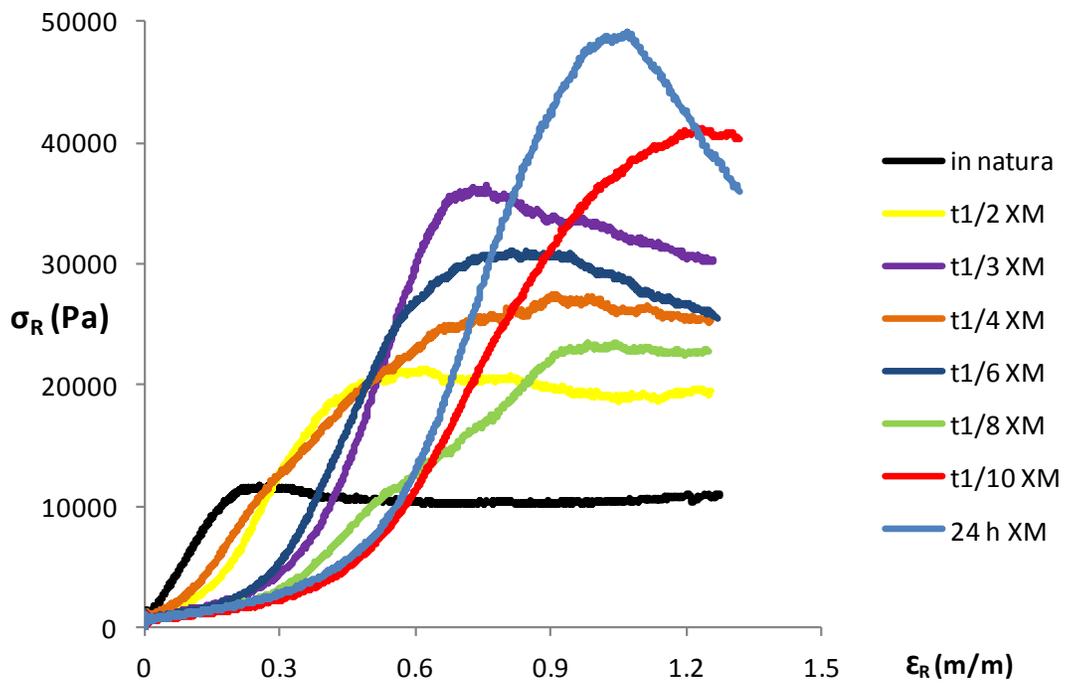
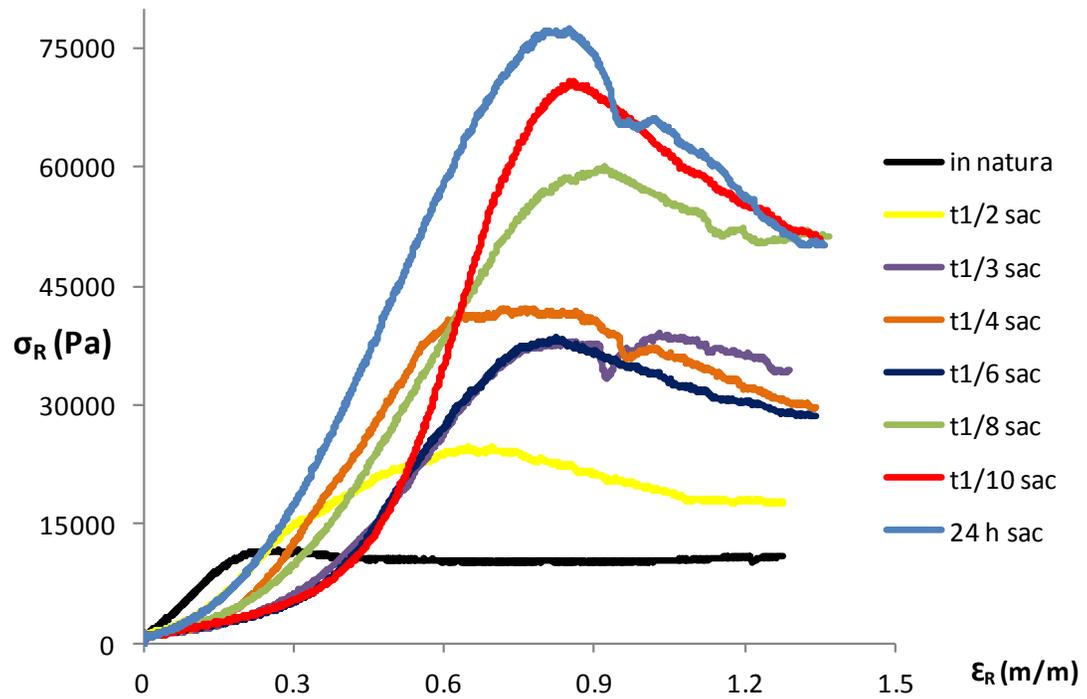


Figura 5.30 – Ensaio de compressão uniaxial das amostras *in natura* e desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de *n*-redução da taxa de desidratação.

Segundo Chen e Opara (2013), a falta de uniformidade na estrutura interna de materiais biológicos associada à heterogeneidade da matéria-prima resulta em desvios relativamente elevados nas propriedades mecânicas desses materiais. Assim, os valores normalizados (em relação à amostra *in natura*) e a análise estatística dos valores da tensão (σ_R) e deformação na ruptura (ϵ_R), assim como os de dureza (W) e o módulo de elasticidade (E_d) são apresentados na Figura 5.31 e 5.32, respectivamente.

Verificou-se que as amostras *in natura* apresentaram uma excelente linearidade entre a tensão e a deformação até a ruptura, cujo valor foi de 0,28, aproximadamente. Nas amostras processadas em sacarose e xarope de milho, notou-se uma não linearidade entre a tensão e a deformação, cujos valores na ruptura aumentaram progressivamente em até 150% e 260%, respectivamente, em relação aos verificados para as amostras *in natura* (Figuras 5.30 e 5.31). Nieto et al. (2013) também verificaram esse comportamento para maçãs desidratadas osmoticamente em diferentes concentrações e solutos.

Nieto et al. (2013) avaliaram o efeito do processo sobre as propriedades de textura de maçãs desidratadas osmoticamente em diferentes solutos. As curvas de tensão vs deformação relativas às amostras frescas apresentaram uma forma típica de materiais mais resistentes, com menor resistência à deformação e ruptura abrupta seguida por sucessivas regiões de fratura do material, característica de materiais crocantes. As frutas desidratadas osmoticamente geraram curvas características de materiais menos resistentes e macios, com menor tensão de ruptura e maior resistência à deformação. Estas mudanças nas propriedades mecânicas das amostras processadas podem ser explicadas, em parte, pela perda de turgor em função da desidratação das células (WALDRON; PARKER; SMITH, 2003).

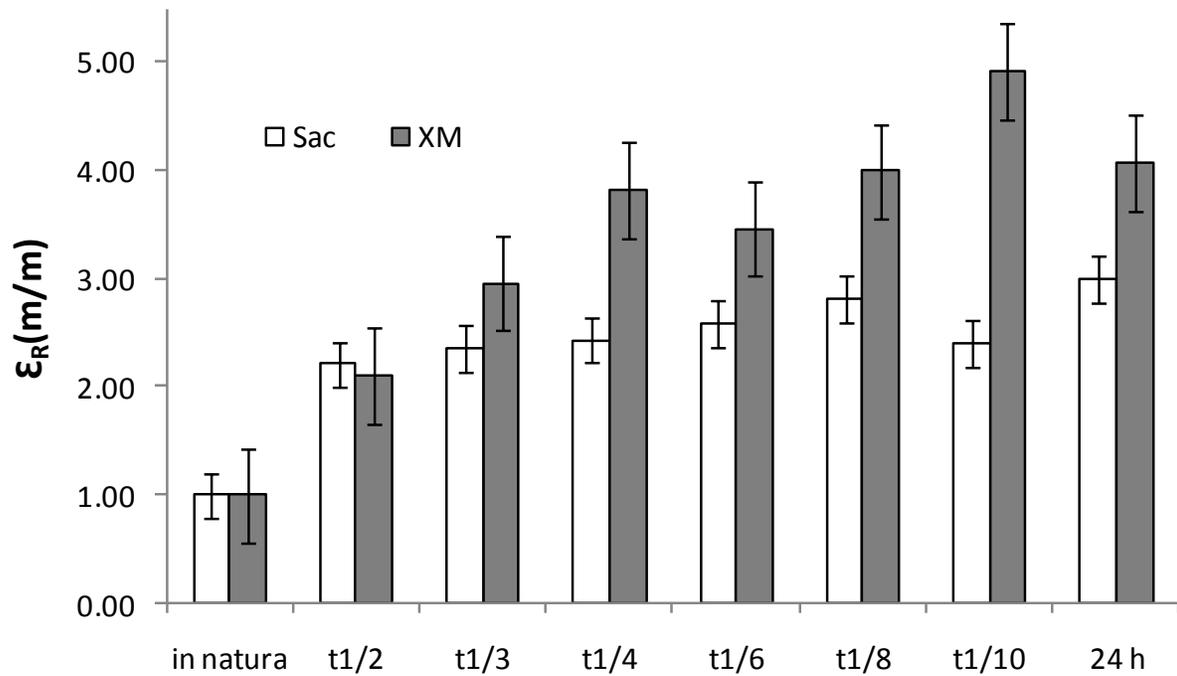
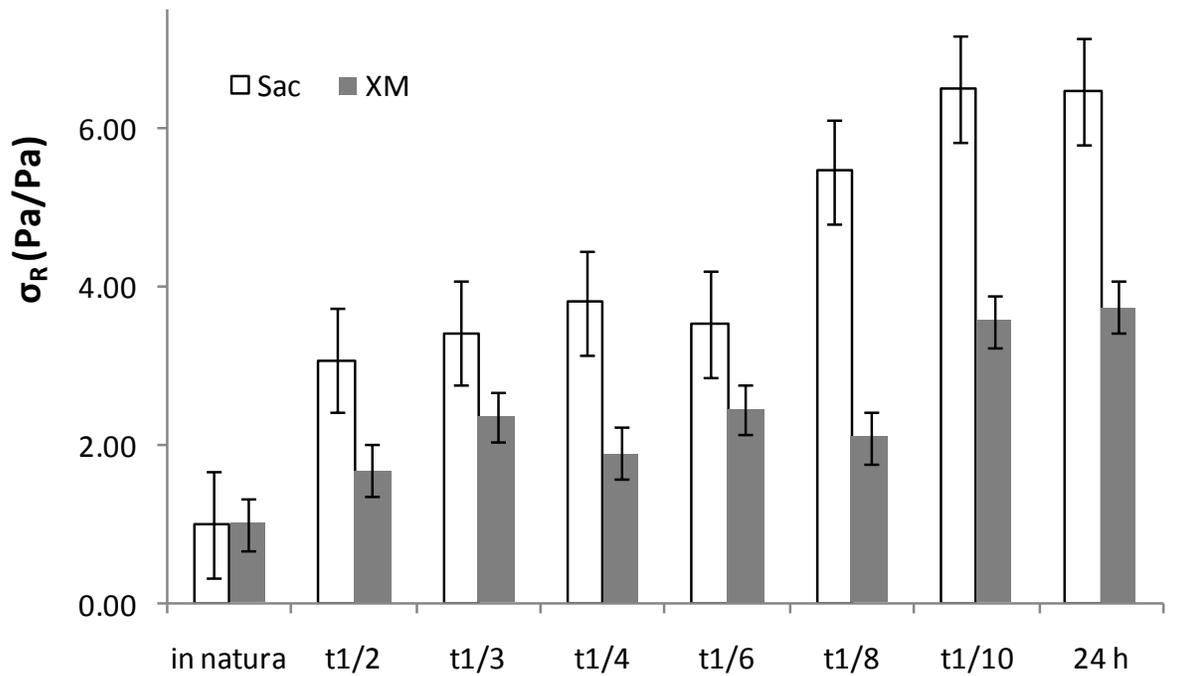


Figura 5.31 - Tensão (σ_R) e deformação (ϵ_R) na ruptura normalizadas, em relação às amostras *in natura*, das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de *n*-redução da taxa de desidratação.

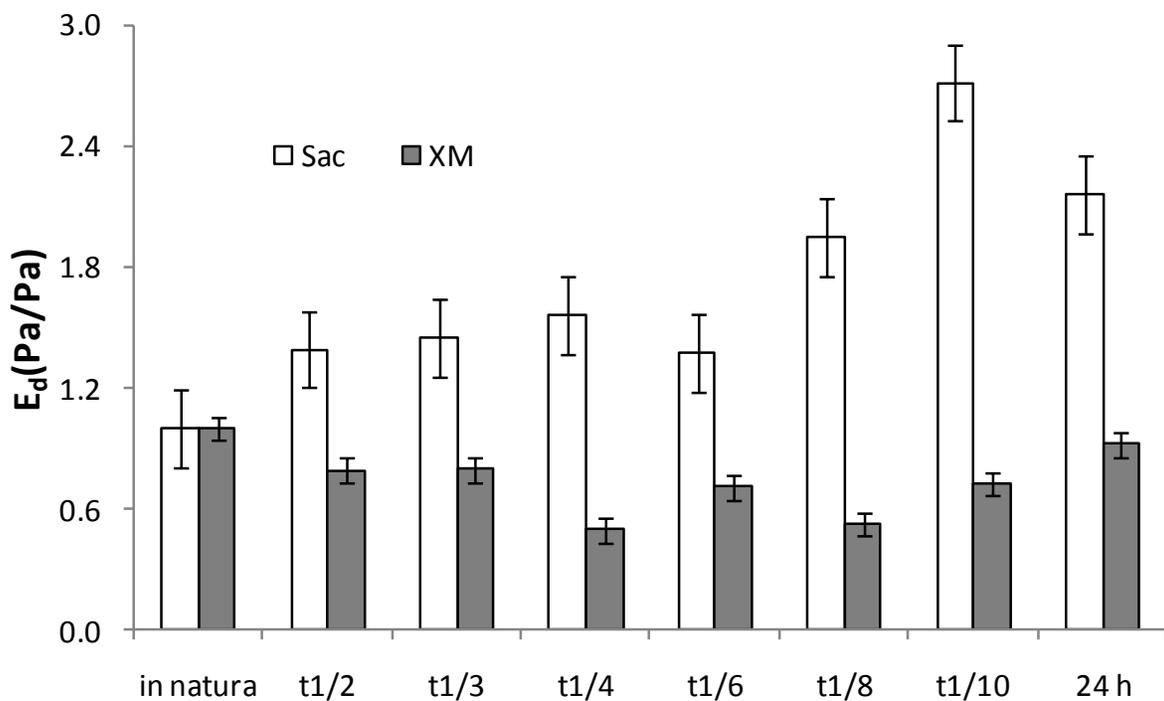
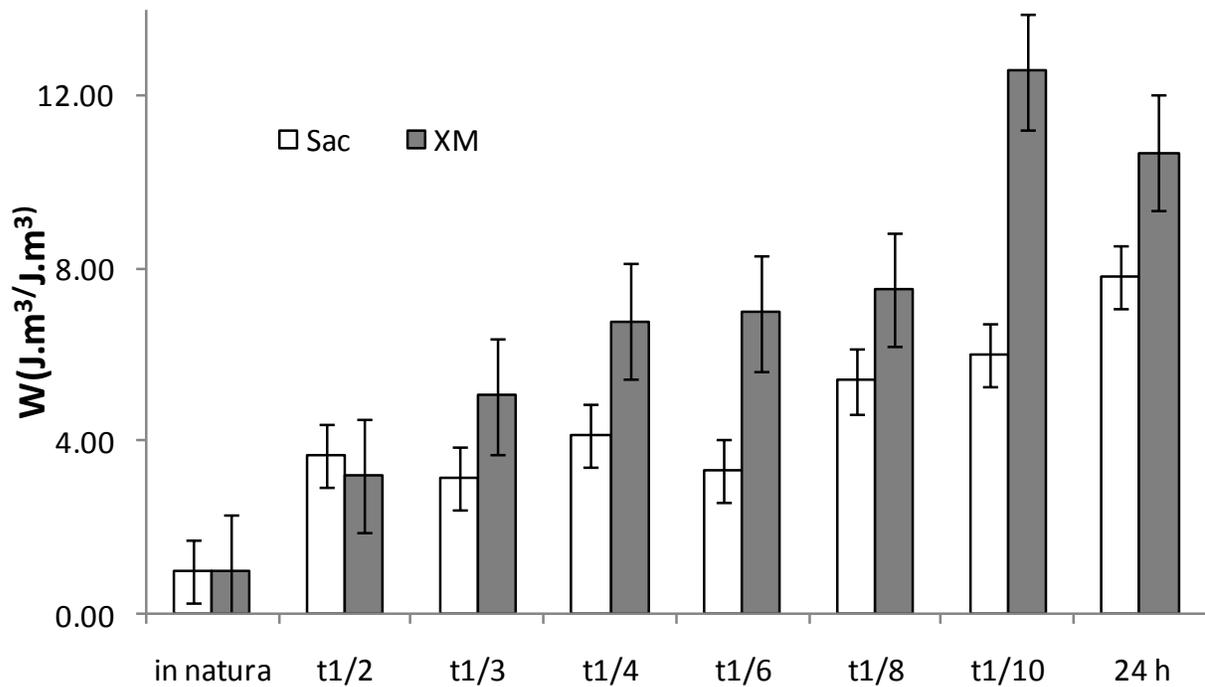


Figura 5.32 - Dureza (W) e módulo de elasticidade (E_d) normalizadas, em relação às amostras *in natura*, das amostras desidratadas osmoticamente em soluções de sacarose e de xarope de milho, utilizando os tempos de n -redução da taxa de desidratação.

Alguns autores afirmam que a parede celular de plantas superiores abrange três redes coextensivas e interpenetrantes; uma rede composta por celulose/hemicelulose; outra por uma matriz pécica heterogênea de alta complexidade com proteínas estruturantes, que interage com a primeira formando um emaranhado de interações. Por fim, o maior volume celular é ocupado pela água, que age modificando as interações entre as demais redes e demais constituintes da célula, afetando suas propriedades reológicas. As substâncias pécticas desempenham um papel fundamental na adesão entre as células, enquanto que a rede formada por celulose/hemicelulose contribui para a rigidez celular (CARPITA; GIBEAUT, 1993; JACKMAN; STANLEY, 1995; NIETO et al., 2013).

Conforme destacado anteriormente, a água é um componente vital na preservação e funcionalidade da estrutura dos tecidos vegetais. A sua remoção durante o processo de desidratação osmótica, por exemplo, gera uma alteração na relação entre os demais constituintes da célula e a água remanescente, modificando irreversivelmente a composição e conformação espacial celular, o que induz a um desarranjo e destruição de sua estrutura, levando ao encolhimento e mudança na mobilidade da água no produto, o que leva em última instância a alterações irreversíveis em suas propriedades mecânicas (NIETO et al., 2013).

Durante a desidratação osmótica, paralelamente à perda de água ocorre a entrada, em contracorrente, de solutos da solução hipertônica para a célula. A seleção do soluto utilizado e sua concentração são fatores decisivos na extensão desses fluxos, que estão relacionados à atividade de água e à viscosidade da solução. Solutos contendo proteínas e/ou polissacarídeos podem alterar significativamente a conformação espacial da célula em função da interação com os demais carboidratos presentes (LEWICKI, 2004; NIETO et al., 2013).

Pereira (2006) estudou o efeito da adição de lactato de cálcio na manutenção da estrutura celular de goiabas desidratadas osmoticamente em sacarose e em soluções de xarope de maltose. A autora verificou que as amostras desidratadas em ambos os solutos apresentaram comportamento similar às do presente estudo. Mesmo naquelas sem a adição de lactato, a autora verificou o aumento na tensão de ruptura e na deformação das amostras

osmoticamente processadas.

Ferrari e Hubinger (2008) desidrataram melão amarelo em soluções de xarope de maltose e sacarose durante 8 horas de processo. As autoras também verificaram que as amostras desidratadas em sacarose apresentaram maiores tensões de ruptura e deformações do que as desidratadas em maltose.

Marani, Agnelli e Mascheroni (2007) observaram que o processamento osmótico promoveu redução da tensão de ruptura em kiwis e morangos. Contudo, para peras e em maçãs, os autores verificaram um ligeiro aumento na tensão de ruptura.

Por outro lado, Nieto et al. (2013) verificaram que maçãs desidratadas em diferentes solutos (maltose e xarope de maltose) e atividades de água (0,94 e 0,97), tiveram uma significativa perda de sua resistência, ou seja: redução da tensão de ruptura dessas amostras, em função da atividade de água das soluções empregadas. Esse aparente amolecimento das amostras foi também observado por Athmaselvi et al. (2012) ao desidratar osmoticamente cascas de melancias em soluções de sacarose. Entretanto, neste último, os autores submeteram a amostra a um pré-tratamento com micro-ondas.

Verificou-se um aumento da dureza, tensão e da deformação na ruptura em todas as amostras processadas. Entretanto, as amostras desidratadas em xarope de milho tiveram uma redução na sua elasticidade, de modo contrário àquelas desidratadas em sacarose (Figuras 5.31 e 5.32). Isso pode estar associado à incorporação de glicose, gerando a uma maior proporção de monossacarídeos nas amostras desidratadas em xarope de milho e provocando perda de elasticidade da célula, uma vez que os monossacarídeos não têm a capacidade de interagir com as porções polares existentes nas membranas. Esta interação manteria a elasticidade celular, mesmo com a perda da água estrutural pelas células, conforme proposto por Vicente et al. (2012).

Verificou-se ainda que as amostras processadas nas soluções contendo sacarose apresentaram maior rigidez (tensão na ruptura e módulo de elasticidade) do que as processadas em xarope de milho, que por sua vez apresentaram maiores deformações na

ruptura e dureza. Esse comportamento foi diretamente proporcional ao tempo de processamento (Figuras 5.31 e 5.32).

De modo geral, o uso de xarope de milho provocou as menores alterações nas propriedades mecânicas dos melões desidratados, exceto para a dureza, cujas amostras obtidas neste soluto apresentaram os maiores valores (Figura 5.32).

Tempos longos de desidratação provocam mudanças nas características estruturais das amostras e a melhoria das propriedades de textura observada pode ser explicada pela maior compactação das células, em função da saída de água e, sobretudo, à incorporação dos solutos, levando a um fortalecimento da estrutura do material (MARANI; AGNELLI; MASCHERONI, 2007).

As diversas alterações estruturais sofridas por alimentos processados estão diretamente relacionadas ao seu comportamento quando comprimidas. Nos alimentos desidratados osmoticamente, estas mudanças podem ser explicadas em parte pela alteração do turgor celular, pois é sabido que células túrgidas são mais crocantes e possuem maior rigidez e menor resistência à deformação do que tecidos com baixo turgor celular. Assim, a mudança nas propriedades de textura das amostras processadas osmoticamente pode ser atribuída principalmente aos fluxos de perda de água e ganho de sólidos e também a fatores químicos e enzimáticos, como a decomposição da pectina presente na parede celular, que modificam o turgor celular das amostras processadas (FERRARI; HUBINGER, 2008; NIETO et al., 2013).

Na Figura 5.33, são apresentadas as micrografias (visão panorâmica e ampliada) das amostras *in natura*, enquanto que as das amostras processadas osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho nos tempos de n -reduções da taxa de desidratação são apresentadas na Figura 5.34.

A análise das Figuras 5.33 e 5.34 revelou uma redução gradativa da turgidez celular e na associação entre a membrana plasmática e a parede celular ao longo do processo, em ambos os agentes osmóticos. No início do processo (até o $t_{1/3}$ para ambos os solutos), notou-

se pouca variação no turgor, mas uma avançada plasmólise celular. A partir do $t_{1/4}$, ficou evidente uma deformação no formato das células, tornando-se menos ovalado em função da redução do turgor celular, e o progressivo aumento nos danos à parede e na plasmólise das células. À medida que o processo avança ($t_{1/6}$ em diante), verifica-se uma maior quantidade de espaços inter-celulares e danos estruturais mais intensos em ambos os solutos. Entretanto, de forma geral, as amostras desidratadas em sacarose apresentaram uma ligeira preservação estrutural em relação às desidratadas em solução de xarope de milho.

Nieto et al. (2013) observaram que amostras submetidas a diferentes solutos (glicose, maltose, trealose e xarope de maltose) com mesma atividade de água apresentaram tecidos com diferentes graus de deterioração. Os autores ressaltaram ainda que amostras desidratadas em soluções contendo apenas dissacarídeos tiveram um menor grau de deterioração em relação às demais amostras, sendo mais intenso nas processadas com glicose.

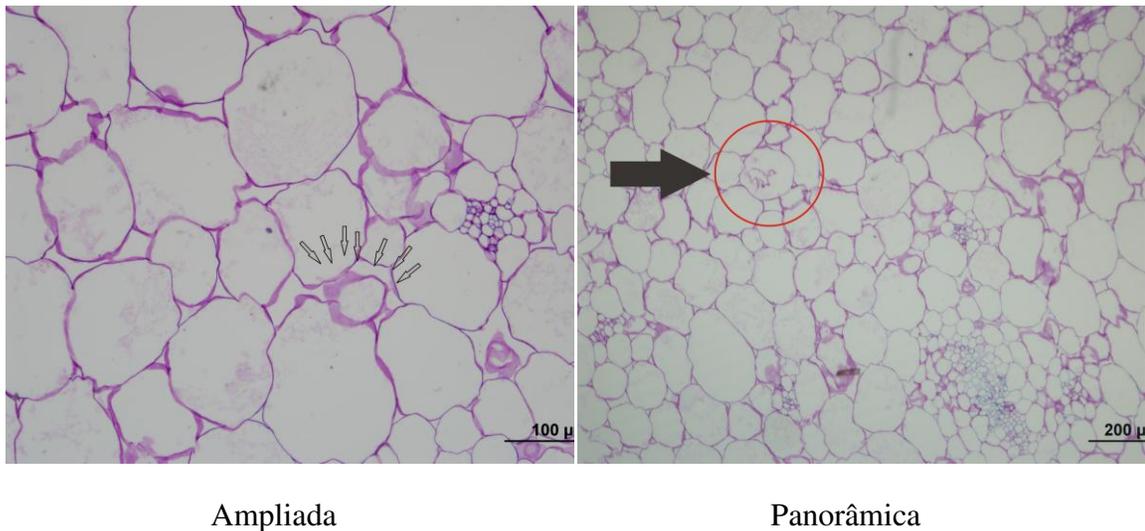


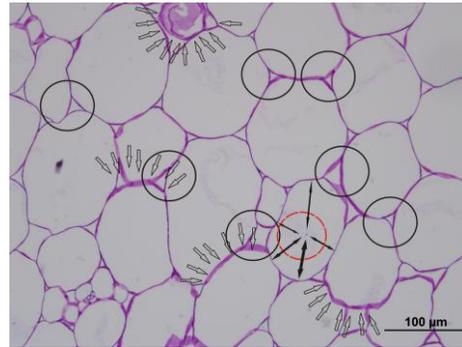
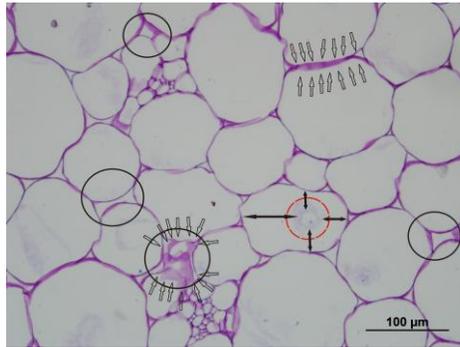
Figura 5.33 - Micrografia do tecido parenquimático de melão *orange-fleshed in natura*. Setas e círculo destacam a plasmólise e o turgor celular, respectivamente.

$t_{(1/n)}$

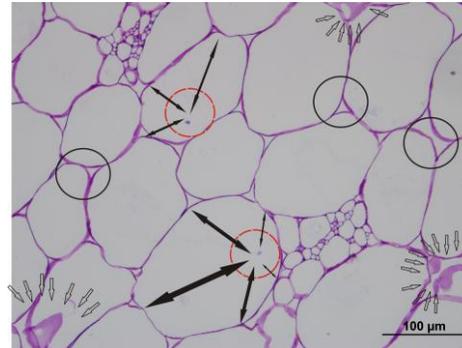
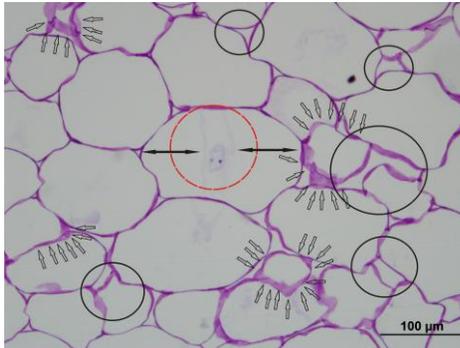
Sacarose

Xarope de Milho

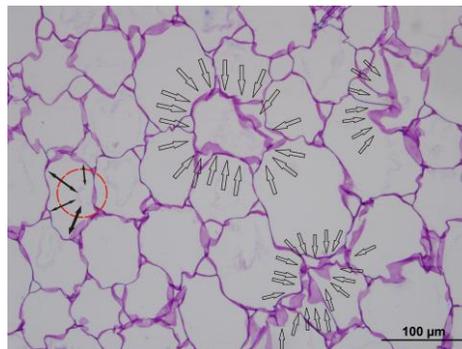
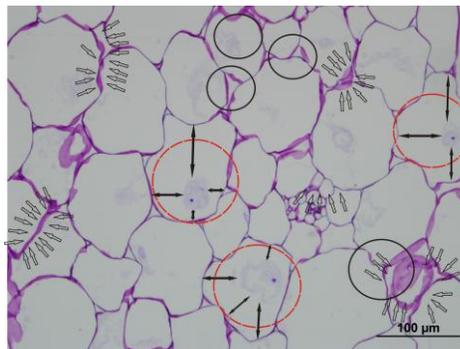
$t_{(1/2)}$



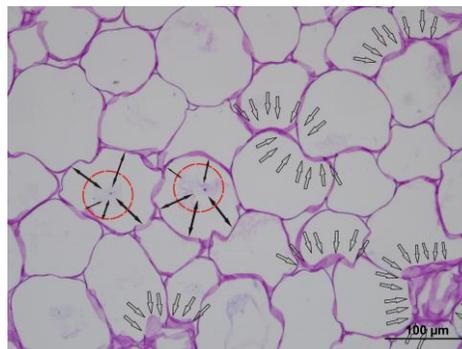
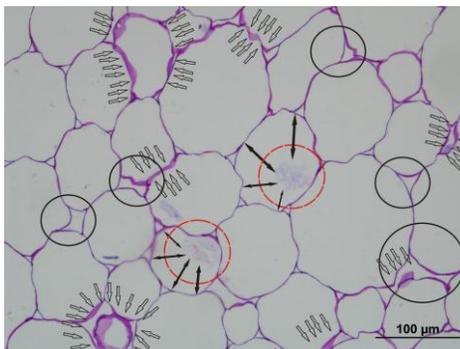
$t_{(1/3)}$



$t_{(1/4)}$



$t_{(1/6)}$



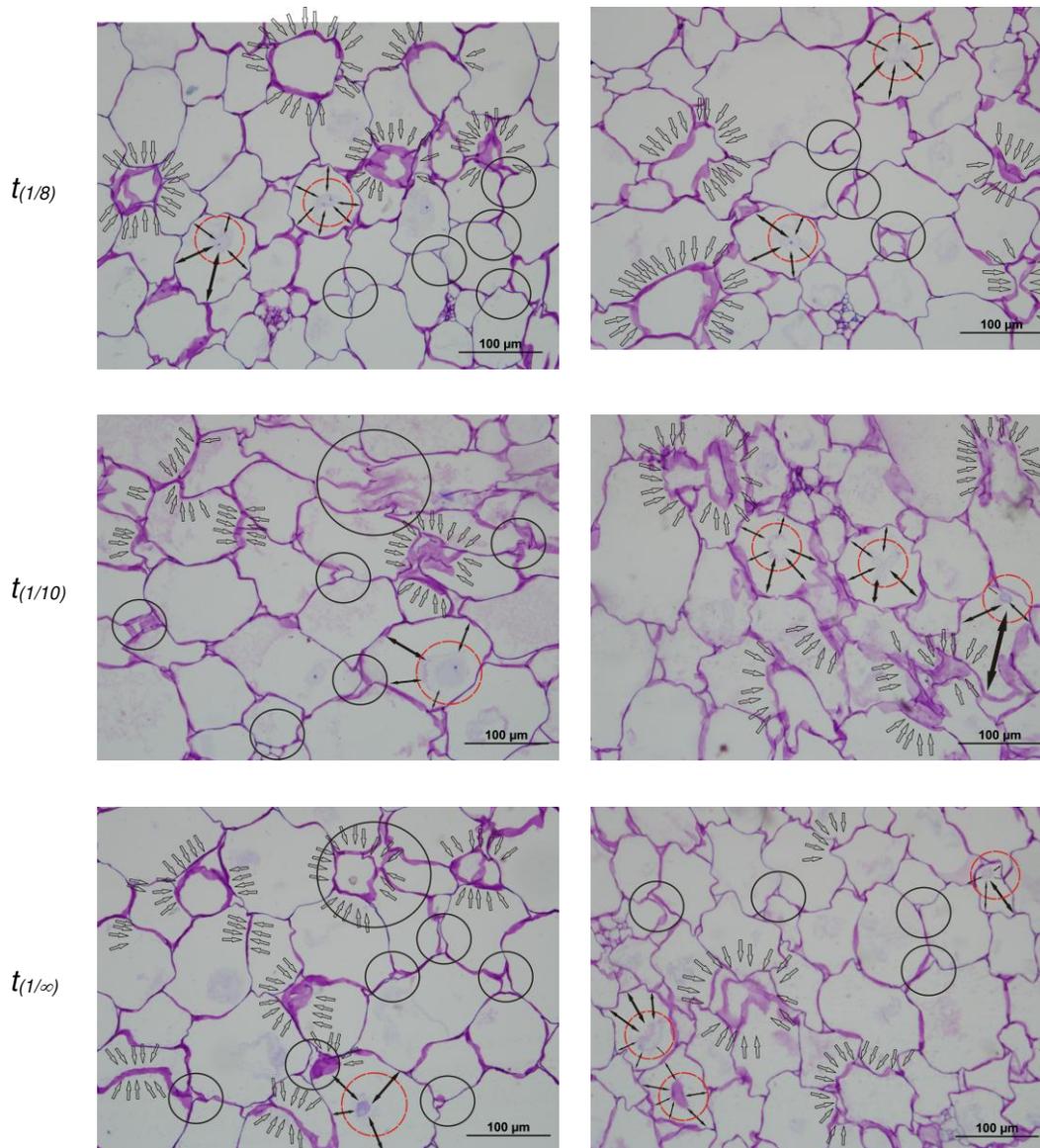


Figura 5.34 - Micrografia do tecido parenquimático de melão orange-fleshed honeydew desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e xarope de milho nos diferentes tempos de n -redução da taxa de desidratação. Setas e círculos destacam a plasmólise e o turgor celular, respectivamente.

Este fato pode estar relacionado ao poder estabilizante que determinados dissacarídeos podem conferir às amostras desidratadas. Patist e Zoerb (2005) e Vicente et al. (2012) destacaram o efeito protetor da trealose e da maltose sobre a estrutura de alimentos processados por diferentes métodos. Esse efeito é devido ao aumento da temperatura de transição vítrea conferida por esses dissacarídeos aos produtos, em função da interação (pontes de hidrogênio, por exemplo) desses mesmos açúcares com os grupos polares das proteínas e de fosfolipídeos, que constituem as biomembranas e estão presentes no tecido desidratado, cuja força gerada substitui estruturalmente a água de hidratação presente na interface entre o fluido e a membrana celulares. Em monossacarídeos, como a glicose presente em grandes quantidades no xarope de glicose utilizado (Figura 5.26), esse efeito não é verificado. Nieto et al. (2013) também verificaram esse mesmo efeito utilizando solução de maltose para desidratar maçãs osmoticamente.

As observações micrográficas das amostras indicaram a existência de uma relação direta entre as alterações microscópicas e macroscópicas conforme verificado por Garcia Loredo et al. (2013) durante a desidratação osmótica de maçãs e por Sormani et al. (1999) estudando o efeito do processo de desidratação osmótica em morangos.

É sabido que as propriedades reológicas estão intimamente relacionadas às transformações estruturais a que os alimentos são submetidos durante o processamento, o que reflete as mudanças verificadas em nível microscópico (JACKMAN; STANLEY, 1995; GARCIA LOREDO et al., 2013; NIETO et al., 2013).

Nieto et al. (2013) avaliaram o efeito da atividade de água e do tipo de soluto na estrutura de maçãs desidratadas osmoticamente. Os autores utilizaram soluções de glicose, trealose, maltose e em xarope de maltose, em concentrações com diferentes atividades de água para cada soluto (0,94 e 0,97) e verificaram que o tecido fresco apresentou elevado turgor celular, plasmalemas e tonoplastos intactos, membrana plasmática intimamente associada com a parede citoplasmática e os espaços intercelulares de diferentes tamanhos e formas. As amostras desidratadas em soluções com maiores atividades de água (0,97) tiveram uma redução de seu turgor, verificado pela retração de seus citoplasmas, gerando

um aspecto quebradiço às membranas celulares. A utilização de trealose, maltose e seu xarope promoveram um efeito protetor sobre a membrana plasmática, em relação à glicose como agente desidratante numa mesma atividade de água, reduzindo a plasmólise celular. Os autores ainda verificaram que, à medida que se reduziu a atividade de água, o tecido de maçã foi afetado no nível celular de uma maneira mais intensa, como resultado da maior intensidade dos fluxos de água e soluto nessas condições, nos quais há uma maior contração/ruptura das membranas de forma generalizada.

6 CONCLUSÕES

Verificou-se que as maiores perdas de água foram obtidas nas maiores temperaturas e concentrações de soluto, para ambos os agentes osmóticos. Além disso, a concentração foi a variável mais importante na maioria das respostas avaliadas no presente estudo. De maneira geral, em soluções com a mesma atividade de água, as amostras desidratadas em soluções de sacarose apresentaram maiores valores de ganho de sólidos e valores similares de perda de água em relação àquelas tratadas com xarope de milho. Apesar de gerar menor incorporação de soluto, o xarope de milho causou maiores danos à estrutura celular das amostras desidratadas osmoticamente.

Os valores dos tempos de meia vida da taxa de desidratação foram sempre menores do que os baseados nas taxas de impregnação, para ambos os agentes osmóticos. Os valores de perda de água obtidos nos tempos de meia vida, para ambos os agentes desidratantes, situaram-se na mesma faixa, entre 16 e 24 gramas de água por 100 gramas de massa inicial de produto.

De modo geral, as amostras processadas apresentaram teores de carotenoides, compostos fenólicos, capacidade antioxidante e coloração similares aos da fruta fresca. Foi verificado que amostras processadas até o tempo de 3 reduções da taxa, em ambos os solutos, não apresentaram alterações significativas das propriedades mecânicas e microscópicas em relação à fruta fresca. Indicando a existência de um intervalo de tempo (nos instantes iniciais do processo), no qual o aumento das taxas de transferência de massa (em termos de água e solutos) não altera substancialmente a qualidade dos produtos processados.

O modelo do tempo de n-redução proposto foi capaz de modelar a cinética de transferência de massa, além de permitir uma comparação mais adequada entre os diferentes solutos usados no processo de desidratação osmótica. Entretanto, verificou-se a necessidade de mais estudos envolvendo o modelo com a utilização de outras frutas e condições de processo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-GHANNAM, N.; MCKENNA, B. The Application of Peleg's Equation to Model water Absorption During the Soaking of Red Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris L.*). **Journal of Food Engineering**, v. 32, n. 4, p. 391-401, 1997.

ADE-OMOWAYE, B. I. O.; RASTOGI, N. K.; ANGERSBACH, A.; KNORR, D. Osmotic dehydration of bell peppers: influence of high intensity electric field pulses and elevated temperature treatment. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 1, p. 35-43, 2002.

AGRIANUAL: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2001. 545p.

AKWETEY, W. Y.; KNIPE, C. L. Sensory attributes and texture profile of beef burgers with gari. **Meat Science**, v. 92, n. 4, p. 745–748, 2012.

ALOTHMAN, M.; BHAT, R.; KARIM, A. A. Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents. **Food Chemistry**, v. 115, n. 3, p. 785-788, 2009.

ALZAMORA, S. M.; TAPIA, M. S.; ARGÁIZ, A.; WELTI, J. Application of combined methods technology in minimally processed fruits. **Food Research International**, v. 26, n. 2, p. 125–130, 1993.

AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists: edited Ig W. Horwitz 16^a ed. Washington, 850p. v.2. 1997.

APEX-BRASIL - Agência de promoção de exportação. Perfil Exportador de Melões Brasileiros – Ano 2014. Disponível em: <<http://www.apexbrasil.com.br>>. Acesso em: 12 julho 2014.

ARAÚJO, J. A. C.; GUERRA, A. C.; DURIGAN, J. F. Efeito da adubação orgânica e mineral em cultivares de melão sob condições de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 26-29, 1999.

ARTÉS, F.; ESCRICHE, A. J.; MARTÍNEZ, J. A.; MARIN, J. G. Quality factors in four varieties of melon (*Cucumis melo* L.). **Journal of Food Quality**, v. 16, n. 2, p. 91-100, 1993.

ATHMASELVI, K. A.; ALAGUSUNDARAM, K.; KAVITHA, C. V.; ARUMUGANATHAN, T. Impact of pretreatment on colour and texture of watermelon rind. **International Agrophysics**, v. 26, n. 1, p. 235-242, 2012.

AZOUBEL, P. M. **Influência de pré-tratamentos na obtenção de produtos secos do caju (*Anacardium occidentale* L.)**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 291–295, 2004.

AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Optimisation of osmotic dehydration of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) in sugar solutions. **Food Science Technology International**, v. 9, n. 6, p. 427-433, 2003.

BARAT, J. M. **Desarrollo de um modelo de la deshidratacion osmotica como operacion basica**, PhD. Thesis, Universidad Politecnica de Valencia, Espanha, 1998.

BARBOSA JUNIOR, J. L.; MANCINI, M. C.; HUBINGER, M. D. Mass transfer kinetics and mathematical modelling of the osmotic dehydration of orange-fleshed honeydew melon in corn syrup and sucrose solutions. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 48, n. 12, p. 2463-2473, 2013.

BEAULIEU, J. C., LEA, J. M., EGGLESTON, G., PERALTA-INGA, Z. Sugar and organic acid variations in commercial cantaloupes and their inbred parents. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 4, p. 531-536, 2003.

BELLARY, A. N.; SOWBHAGYA, H. B.; RASTOGI, N. K. Osmotic dehydration assisted impregnation of curcuminoids in coconut slices. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 3, p. 453-459, 2011.

BEVERIDGE, T.; HARRISON, J. E. Nonenzymatic browning in pear juice concentrate at elevated temperatures. **Journal of Food Science**, v. 49, n. 5, p. 1335–1340, 1984.

BIANCHI, M. L. P.; ANTUNES, L. M. G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Revista de Nutrição**, v. 12, n. 2, p. 123-130, 1999.

BOHUON, P.; COLLIGNAN, A.; RIOS, G. M.; RAOULT-WACK, A. L. Soaking process in ternary liquids: Experimental study of mass transport under natural and forced convection. **Journal of Food Engineering**, v. 37, n. 4, p. 451–469, 1998.

BOURNE, M. C. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2002. 400 p.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Melão. BRASÍLIA, 2003. (FRUTISÉRIES, 2).

BRAVO, L. Polyphenols: Chemistry, Dietary Sources, Metabolism, and Nutritional Significance, **Nutrition Reviews**, v. 56, n. 11 p. 317-333, 1998.

BURGER, Y.; SA'AR, U.; PARIS, H. S.; LEWINSOHN, E.; KATZIR, N.; TADMOR, Y.; SCHAFFER, A. A. Genetic variability for valuable fruit quality traits in *Cucumis melo*. **Israel Journal of Plant Sciences**, v. 54, n. 3, p. 233-242, 2006.

CARILLON, J.; DEL RIO, D.; TEISSÈDRE, P. L.; CRISTOL, J. P.; LACAN, D.; ROUANET, J. M. Antioxidant capacity and angiotensin I converting enzyme inhibitory activity of a melon concentrate rich in superoxide dismutase. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1298-1302, 2012.

CAMPOS, C. D. M.; SATO, A. C. K.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D.; CUNHA, R. L. Effect of process variables on the osmotic dehydration of star-fruit slices. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, n. 2, p. 357-365, 2012.

CARPITA, N. C.; GIBEAUT, D. M. Structural models of primary cell walls in flowering plants: consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. **Plant Journal**, v. 3, n. 1, p. 1–30, 1993.

CARVALHO, J. M.; THOMÉ, K. M.; LEITÃO, F. O. Quality management as a resource of transaction costs reduction: empirical inputs from the international fruit trade. **RAM, Revista de Administração Mackenzie**, v. 15, n. 1, p. 174-199, 2014.

CASTILLO, A.; MERCADO, I.; LUCIA, I. M.; MARTINEZ-RUIZ, Y.; PONCE DE LEON, J.; MURANO, E. A.; ACUFF, G. R. Salmonella contamination during production of cantaloupe: a binational study. **Journal of Food Protection**, v. 67, n. 4, p. 713-720, 2004.

CASTRO-GIRÁLDEZ, M.; TYLEWICZ, U.; FITO, P. J.; DALLA ROSA, M.; FITO, P. Analysis of chemical and structural changes in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward) through the osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 4, p. 599-608, 2011.

CHANG, H. C.; LIN, Y. C.; KUO, C. T. A two-dimensional diffusion model quantifying intracellular transport with independent factors accounting for cytosol viscosity, binding, and steric hindrance. **Biochemical Engineering Journal**, v. 41, n. 3, p. 217–227, 2008.

CHEN, L.; OPARA, U. L. Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods – A review. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 3, p. 497–507, 2013.

CHENLO, F.; MOREIRA, G.; PEREIRA, G.; AMPUDIA, A. Viscosities of aqueous solutions of sucrose and sodium chloride of interest in osmotic dehydration processes. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 4, p. 347–352, 2002.

CHONG, C. H.; LAW, C. L.; FIGIEL, A.; WOJDYŁO, A.; OZIEMBŁOWSKI, M. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. **Food Chemistry**, v. 141, n. 4, p. 3889–3896, 2013.

CHOU, S. K.; CHUA, K. J.; MUJUMDAR, A. S.; HAWLADER, M. N. A.; HO, J. C. On the intermittent drying of an agricultural product. **Food and Bioproducts Processing**, v. 78, n. 4, p. 193–203, 2000.

COHEN, R. A.; HICKS, J. R. Effect of storage on quality and sugars in muskmelon. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 111, n. 4, p. 553-557, 1986.

COLLIGNAN, A.; RAOULT-WACK, A. L. Dewatering and salting of cod by immersion in concentrated sugar salt-solutions. **Food Science Technology-Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, v. 27, n. 3, p. 259-264, 1994.

CONWAY, J.; CASTAIGNE, F.; PICARD, G.; VOYAN, X. Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. **Canadian Institute of Food Science Technology Journal**, v. 16, n. 1, p. 25-29, 1983.

CORRALES, M.; TOEPFL, S.; BUTZ, P.; KNORR, D.; TAUSCHER, B. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: a comparison. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 9, n. 1, p. 85–91, 2008.

COSTA, F.; CAPPELLIN, L.; LONGHI, S.; GUERRA, W.; MAGNAGO, P.; PORRO, D.; SOUKOULIS, C.; SALVI, S.; VELASCO, R.; BIASIOLI, F.; GASPERI, F. Assessment of apple (*Malus domestica* Borkh.) fruit texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. **Postharvest Biology and Technology**, v. 61, n. 1, p. 21–28, 2011.

COSTA, N. D.; GRAGEIRO, L. V.; FARIA, C. M. B.; TAVARES, S. C. C. H.; ALENCAR, J. A.; ARAÚJO, J. L. P. A cultura do melão. Brasília. EMBRAPA-SPI. 2001. (**Coleção Plantar –série vermelha - Fruteiras**).

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975. 71 p.

DANIELE, G.; CASABIANCA, H. Sugar composition of French royal jelly for comparison with commercial and artificial sugar samples. **Food Chemistry**, v. 134, n. 2, p. 1025-1029, 2012.

DE LA FUENTE, E., RUIZ-MATUTE, A.I., VALENCIA-BARRERA, R.M., SANZ, J., MARTÍNEZ-CASTRO, I. Carbohydrate composition of Spanish unifloral honeys, **Food Chemistry**, v. 129, n. 4, p. 1483-1489, 2011.

DEL ROSARIO, B. A.; BEUCHAT, L. R. Survival and growth of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157: H7 in cantaloupe and watermelon. **Journal of Food Protection**, v. 58, n. 1, p. 105-107, 1995.

DEVASAGAYAM, T. P.; J. C., T.; BOLOOR, K. K.; SANE, K. S.; GHASKADBI, S. S.; LELE, R. D. Free radicals and antioxidants in human health: current status and future prospects. **Journal of the Association of Physicians of India**, v. 52, p. 794–804, 2004.

DEVIC, E.; GUYOT, S.; DAUDIN, J. D.; BONAZZI, C. Effect of temperature and cultivar on polyphenol retention and mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 1, p. 606-614, 2010.

DIAS, R. C. S.; COSTA, N. D.; CERDAN, C.; SILVA, P. C. G.; QUEIROZ, M. A.; AZU, F.; LEITE, L. A. S.; PESSOA, P. F. A.; TERÃO, D. A. **A cadeia produtiva do melão no Nordeste**. In: CASTRO, S. M. V.; GOEDERT, W. J.; FREITAS FILHO, A.; VASCONCELOS, J. R. P. *Cadeias produtivas e sistemas naturais*. Brasília, MAA/EMBRAPA, 1998, p. 441–494.

DJELVEH, G.; GROS, J. B.; EMAM-DJOMEH, Z. Osmotic dehydration of foods in a multicomponent solution: Part II. Water loss and solute uptake in agar gels and meat. **Lebensmittel–Wissenschaft and Technologies**, v. 34, n. 5, p. 319–323, 2001.

DOKIC, L.; JAKOVLJEVIC, J.; DOKICEL, P. Relation between Viscous Characteristics and Dextrose Equivalent of Maltodextrins. **Starch/Stärke**, v. 56, n. 11, p. 520-525, 2004.

EL GHARRAS, H. Polyphenols: food sources, properties and applications – a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 12., p. 2512–2518, 2009.

EL-AOUAR, A. A. **Estudo do processo de secagem de mamão formosa (*Carica papaya L.*) fresco e pré-tratado osmoticamente**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

EL-AOUAR, A. A.; AZOUBEL, P. M.; BARBOSA JUNIOR, J. L.; MURR, F. E. X. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya L.*). **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 267-274, 2006.

EMAM-DJOMEH, Z.; DJELVEH, G.; BONNIN, P.; SIRAMI, J. Maitrise du transfert simultané d'eau et de solutes en déshydratation osmotique des viandes. **Viandes et Produits Carnés**, v. 17, n. 6, p. 345–346, 1996.

EMAM-DJOMEH, Z.; DJELVEH, G.; GROS, J. B. Osmotic dehydration of foods in a multicomponent solution: Part I. Lowering of solute uptake in agar gels: diffusion considerations. **Lebensmittel–Wissenschaft and Technologies**, v. 34, n. 5, p. 313–318, 2001.

ERICKSON, E. R.; BERNTSEN, R. A.; ELIASON, M. A. Viscosity of Corn Sirup. **Journal of Chemical and Engineering Data**, v. 11, n. 4, p. 485-488, 1966.

EVERETTE, J. D.; BRYANT, Q. M.; GREEN, A. M.; ABBEY, Y. A.; WANGILA, G. W.; ALKER, R. B. Thorough study of reactivity of various compound classes toward the Folin–

Ciocalteu reagent. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 14, p. 8139-8144, 2010.

FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C.; AYANWUYI, F. A. Kinetics of mass transfer, and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 3, p. 979-985, 2007.

FAN, K.; CHEN, L.; DU, K.; YAN, F. Study on Equilibrium Distribution Coefficients during Osmotic Dehydration of White Gourd Slices. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2014.

FANTA, S. W.; ABERA, M. K.; HO, Q. T.; VERBOVEN, P.; CARMELIET, J. Microscale modeling of water transport in fruit tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 2, p. 229-237, 2013.

FERNANDES, M. S. Perspectivas de mercado da fruta brasileira. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA**, v. 19, 2006, Cabo Frio. Anais... p. 4-12.

FERRANDO, M.; SPIESS, W. E. J. Cellular response of plant tissue during the osmotic treatment with sucrose, maltose, and trehalose solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2, p. 115–127, 2001.

FERRARI, C. C. **Avaliação do Emprego da Desidratação Osmótica e de Coberturas Comestíveis de Pectina na Estrutura Celular e na Qualidade de Melão Minimamente Processado**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

FERRARI, C. C.; ARBALLO, J. R.; MASCHERONI, R. H.; HUBINGER, M. D. Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 2, p. 436-443, 2011.

FERRARI, C. C.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; BOLINI, H. M. A.; HUBINGER, M. D. Structural Changes, Mechanical Properties and Sensory Preference of Osmodehydrated

Melon Pieces with Sucrose and Calcium Lactate Solutions. **International Journal of Food Properties**, v. 13, n. 1, p. 112-130, 2010.

FERRARI, C. C.; HUBINGER, M. D. Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, n. 11, p. 2065-2074, 2008.

FERRARI, C. C.; RODRIGUES, L. K.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 564-570, 2005.

FERRARI, F.; SARANTÓPOULOS, C.; CARMELLO-GUERREIRO, M.; HUBINGER, M. D. Effect of Osmotic Dehydration and Pectin Edible Coatings on Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Melon. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 1, p. 80-91, 2013.

FIGUEIREDO, R. W.; OLIVEIRA, A. C.; MAIA, G. A.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; SOUSA, P. H. M. Qualidade do melão cantaloupe cv. Hy-Mark minimamente processado e armazenado sob refrigeração. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 114-117, 2007.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 412p.

FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J.; SALVATORI, J. D.; ANDRÉS, A. Some advances in osmotic dehydration of fruits. **Food Science Technology International**, v. 4, n. 5, p. 329-338, 1998.

FLESHMAN, M. K.; LESTER, G. E.; RIEDL, K. M.; KOPEC, R. E.; NARAYANASAMY, S.; CURLEY, R. W.; SCHWARTZ, S. J.; HARRISON, E. H. Carotene and novel apocarotenoids in orange-fleshed *Cucumis melo* melons: Determination of β -carotene bioaccessibility and bioavailability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 9, p. 4448-4454, 2011.

FLORES, F. B.; ROMOJARO, F.; LATCHÉ, A.; PECH, J. C.; MARTÍNEZ-MADRID, M. C. Assay of a potential post-harvest handling procedure for Cantaloupe Charentais melon fruit with inhibited ethylene production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 11, p. 2034-2039, 2007.

FRANKEL, E.N.; MEYER, A.S. The problem of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 13, p. 1925-1941, 2000.

GALMARINI, M. V.; BAEZA, R.; SANCHEZ, V.; ZAMORA, M. C.; CHIRIFE, J. Comparison of the viscosity of trehalose and sucrose solutions at various temperatures: Effect of guar gum addition. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 186-190, 2011.

GANJLOO, A.; RAHMAN, R.A.; BAKAR, J.; OSMAN, A.; BIMAKR, M. Kinetics Modeling of Mass Transfer Using Peleg's Equation During Osmotic Dehydration of Seedless Guava (*Psidium guajava* L.): Effect of Process Parameters. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2151-2159, 2012.

GARBELOTTI, M.L. **Fibra alimentar e valor nutritivo de preparações servidas em restaurantes "por quilo" (Cerqueira César)**. 2000. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – FSP, USP, São Paulo, 2000.

GARCIA LOREDO, A. B.; GUERRERO, S. N.; GOMEZ, P. L.; ALZAMORA, S. M. Relationships between rheological properties, texture and structure of apple (*Granny Smith* var.) affected by blanching and/or osmotic dehydration. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 2, p. 475-488, 2013.

GENINA-SOTO, P.; BARRERA-CORTES, J.; GUTIERREZ- LOPEZ, G.; NIETO, E. A. Temperature and concentration effects of osmotic media on osmotic dehydration profiles of sweet potato cubes. **Drying Technology**, v. 19, n. 3-4, p. 547-558, 2001.

GIOVANELLI, G.; BRAMBILLA, A.; RIZZOLO, A.; SINELLI, N. Effects of blanching pre-treatment and sugar composition of the osmotic solution on physico-chemical,

morphological and antioxidant characteristics of osmodehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 263-271, 2012.

GIOVANELLI, G.; BRAMBILLA, A.; SINELLI, N. Effects of osmo-air dehydration treatments on chemical, antioxidant and morphological characteristics of blueberries. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 577-584, 2013.

GRANGEIRO, L. C.; PEDROSA, J. F.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Qualidade de híbridos de melão em diferentes densidades de plantio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 110-113, 1999.

HALLIWELL, B. Antioxidants in human health and disease. **Annual Review of Nutrition**, v. 16, n. 1, p. 33-50, 1996.

HAMINIUK, C. W. I.; PLATA-OVIEDO, M. S. V.; GUEDES, A. R.; STAFUSSA, A. P.; BONA, E.; CARPES, S. T. Chemical, antioxidant and antibacterial study of Brazilian fruits. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 7, p. 1529-1537, 2011.

HAWKES, J.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 2, n. 4, p. 265-284, 1978.

HEREDIA, A.; PEINADO, I.; BARRERA, C.; GRAU, A. A. Influence of process variables on color changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, n. 4, p. 285-294, 2009.

HEREDIA, A.; PEINADO, I.; ROSA, E.; ANDRÉS, A.; ESCRICHE, I. Volatile profile of dehydrated cherry tomato: Influences of osmotic pre-treatment and microwave power. **Food Chemistry**, v. 130, n. 4, p. 889-895, 2012.

HODGES, D. M.; LESTER, G. E.; MUARO, K. D.; TOIVONEN, P. M. A. Oxidative stress: importance for postharvest quality. **HortScience**, v. 39, n. 5, p. 924-929, 2004.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 6, p. 1841–1856, 2005.

IBGE. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/>. Acesso em: 23 ago. 2006.

IBGE. Produção agrícola municipal 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/PAM2010_Publicacao_completa.pdf>. Acesso em 23 junho 2014.

IBRAF. Exportação de melão por países de destino - Ano 2001. Disponível em: <<http://www.ibraf.org.br/x-es/esta.html>> Acesso em 20/01/2011.

IBRAF. Exportação de melão por países de destino - Ano 2008. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est_frutas.asp> Acesso em 16/08/2013.

IBRAF. Exportação de melão por países de destino - Ano 2010. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est_frutas.asp> Acesso em 23/04/2014.

IGUAL, M., SAMPEDRO, F., MARTÍNEZ-NAVARRETE, N., FAN, X. Combined osmodehydration and high pressure processing on the enzyme stability and antioxidant capacity of a grapefruit jam. **Journal of Food Engineering**, v. 114, n. 4, p. 514-521, 2013.

JACKMAN, R.; STANLEY, D. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 6, n. 6, p. 187–194, 1995.

JACOB, J. K.; PALIYATH, G. Infusion of fruits with nutraceuticals and health regulatory components for enhanced functionality. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 93-102, 2012.

JOHNSTONE, P. R.; HARTZ, T. K.; MAY, D. M. Calcium Fertigation ineffective at increasing fruit yield and quality of muskmelon and honeydew melons in California. **Hortecchnology**, v. 18, n. 4, p. 685-689, 2008.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; SULTANOGLU, M. Modeling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, v. 46, n. 4, p. 243-250, 2000.

KENNY, O.; SMITH, T. J.; HEWAGE, C. M.; BRUNTON, N. P. Antioxidant properties and quantitative UPLC-MS analysis of phenolic compounds from extracts of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds and bitter melon (*Momordica charantia*) fruit. **Food Chemistry**, v. 141, n. 4, p. 4295-4302, 2013.

KHOYI, M. R.; HESARI, J. Osmotic dehydration kinetics of apricot using sucrose solution. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 4, p. 1355–1360, 2007.

KHURI, A. J.; CORNELL, F. A. *Response surfaces: design and analyses*, New York: Marcel Dekker, New York, 510p., 1996.

KIM, E. H. J.; CORRIGAN, V. K.; WILSON, A. J.; WATERS, I. R.; HEDDERLEY, D. I.; MORGENSTERN, M.P. Fundamental fracture properties associated with sensory hardness of brittle solid foods. **Journal of Texture Studies**, v. 43, n. 1, p. 49–62, 2012..

KLEWICKI, R.; UCZCIWEK, M. Effect of osmotic dehydration in fructose, sucrose and fructooligosaccharide solutions on the content of saccharides in plums and apples and their energy value. **Agricultural and food science**, v. 17, n. 4, p. 367-375, 2008.

KOLAYLI, S.; KARA, M.; ULUSOY, E.; TEZCAN, F.; ERIM, F. B.; ALIYAZICIOGLU, R. Comparative Study of Chemical and Biochemical Properties of Different Melon Cultivars: Standard, Hybrid, and Grafted Melons. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 17, p. 9764–9769, 2010.

KOWALSKA, H.; LENART, A. Mass exchange during osmotic pre-treatment of vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 137-140, 2001.

KOWALSKI, S. J.; MIERZWA, D. Numerical analysis of drying kinetics for shrinkable products such as fruits and vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 114, n. 4, p. 522-529, 2013.

KRISHNAIAH, D.; SARBATLY, R.; NITHYANANDAM, R. A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. **Food and Bioproducts Processing**, v. 89, n. 3, p. 217-233, 2011.

KROKYDA, M. K.; MAROULIS, Z. B.; SARAVACOS, G. D. The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 36, n. 1, p. 53-59, 2001.

LAUR, L. M.; TIAN, L. Provitamin A and vitamin C contents in selected California-grown cantaloupe and honeydew melons and imported melons. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 2, p. 194-201, 2011.

LAZARIDES, H. N. Osmotic dehydration developments and prospects. In. *Minimal Processing and Process Optimization of Foods: an Interface*, Editora CRC, Boca Raton, FL, 73p., 1994.

LAZARIDES, H. N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Engineering**, v. 25, n. 2, p. 151-166, 1995.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: Technology and application. **Drying Technology**, v. 14, n. 2, p. 391-413, 1996.

LENART, A.; FLINK, J. M. Osmotic concentration of potato I: criteria for the end-point of osmosis. **Journal of Food Technology**, v. 19, p. 45-63, 1984a.

_____. Osmotic concentration of potato II: spatial distribution of the osmotic effect. **Journal of Food Technology**, v. 19, p. 65-69, 1984b.

LENART, A.; LEWICKI, P. P. Kinetics of osmotic dehydration of the plant tissue. In *Drying '87*, ed. A. S. Mujumdar. Hemisphere Publ. Corp., New York, USA, pp.239-248, 1987.

LERICI, C. R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. **Journal of Food Science**, v. 50, n. 5, p. 1217-1226, 1985.

LESTER, G. E. Antioxidant, Sugar, Mineral, and Phytonutrient Concentrations across Edible Fruit Tissues of Orange-Fleshed Honeydew Melon (*Cucumis melo* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 10, p. 3694–3698, 2008.

LESTER, G. E.; JIFON, J. L.; ROGERS, G. Supplemental foliar potassium applications during muskmelon fruit development can improve fruit quality, ascorbic acid, and β -carotene contents. **Journal of American Society of Horticultural Science**, v. 130, n. 4, p. 649-653, 2005.

LESTER, G. E.; JIFON, J. L.; STEWART, W. M. Foliar potassium improves cantaloupe marketable and nutritional quality. **Better Crops**, v. 91, n. 1, p. 24-25, 2007.

LESTER, G. E. Melon (*Cucumis melo* L.) fruit nutritional quality and health functionality. **HortTechnology**, v. 7, n. 3, p. 222–227, 1997.

LESTER, G. E., SAFTNER, R. A. Marketable quality and phytonutrient concentrations of a novel hybrid muskmelon intended for the fresh-cut industry and its parental lines: Whole-fruit comparisons at harvest and following long-term storage at 1 or 5 °C. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 2, p. 248–253, 2008.

LESTER, G. E.; CROSBY, K. Ascorbic acid, folic acid and potassium content in postharvest green-fleshed honeydew muskmelons: influence of cultivar, fruit size, soil type, and year. **Journal of American Society of Horticultural Science**, v. 127, n. 5, p. 843–847, 2002.

LESTER, G. E.; EISCHEN, F. Beta-carotene content of postharvest orange fleshed muskmelon fruit: effect of cultivar, growing location and fruit size. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 49, n. 3, p. 191–197, 1996.

LESTER, G.E.; HODGES, D.M. Antioxidant associated with fruit senescence and human health: Novel orange-fleshed non-netted honey dew melon genotype comparisons following different seasonal productions and cold storage durations. **Postharvest Biology and Technology**. v. 48, n. 3, p.347–354, 2008.

LEWICKI, P. P. Water as the determinant of food engineering properties. A review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 4, p. 483–495, 2004.

LIMA, V. L. A. G.; MÉLO, E. A.; LIMA, D. E. S. Fenólicos e carotenóides totais em pitanga. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 447-450, 2002.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel – Wissenschaft and Technologies**. v. 18, n. 2, p. 112–122, 1985.

LOPEZ, A.; PIQUE, M. T.; BOATELLA, J.; ROMERO, A.; FERRAN, A.; GARCIA, J. Influence of drying conditions on the hazelnut quality: III. Browning. **Drying Technology**, v. 15, n. 3-4, p. 989–1002, 1997.

LOPEZ, D.; PAVELKOVA, M.; GALLOVA, L.; SIMONETTI, P.; GARDANA, C.; LOJEK, A.; LOAIZA, R.; MITJAVILA, M. T. Dealcoholized red and white wines decrease oxidative stress associated with inflammation in rats. **British Journal of Nutrition**, v. 98, n. 3, p. 611–619, 2007.

MAIETTI, A.; TEDESCHI, P.; STAGNO, C.; BORDIGA, M.; TRAVAGLIA, F.; LOCATELLI, M.; ARLORIO, M.; BRANDOLINI, V. Analytical Traceability of Melon (*Cucumis Melo* Var *Reticulatus*): Proximate Composition, Bioactive Compounds, and Antioxidant Capacity in Relation to Cultivar, Plant Physiology State, and Seasonal Variability. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 6, p. 646-652, 2012.

MARANI, C. M.; AGNELLI, M. E.; MASCHERONI, R. H. Osmo-frozen fruits: mass transfer and quality evaluation. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 4, p. 1122-1130, 2007.

MARTÍN-SÁNCHEZ, A. M.; CHERIF, S.; BEN-ABDA, J.; BARBER-VALLÉS, X.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; SAYAS-BARBERÁ, E. Phytochemicals in date co-products and their antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 158, n. 1, p. 513–520, 2014.

MASTRÁNGELO, M. M.; ROJAS, A. M.; CASTRO, M. A.; GERSCHENSON, L. N.; ALZAMORA, S. M. Texture and structure of glucose-infused melon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 6, p. 769-776, 2000.

MAURO, M. A.; MENEGALLI, F. C. Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients in potato tissue during osmotic concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 57, n. 4, p. 367-374, 2003.

MAURO, M. A.; TAVARES, D. Q.; MENEGALLI, F. C. Behavior of plant tissue in osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 56, n. 1, p. 1-15, 2002.

MAVROUDIS, N. E.; DEJMEK, P.; SJÖHOLM, I. Osmotic-treatment-induced cell death and osmotic processing kinetics of apples with characterized raw material properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 1, p. 47-56, 2004.

MAYBERRY, K. S.; HARTZ, T. K. Extension of muskmelon storage life through the use of hot water treatment and polyethylene wraps. **Hortscience**, v. 27, n.4, p. 324-326, 1992.

MEDINA-VIVANCO, M.; SOBRAL, P. J. A.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. **Chemical Engineering Journal**, v. 86, n. 1, p. 199-205, 2002.

MENDONÇA, F. V. S.; MENEZES, J. B.; GUIMARÃES, A. A.; SIMÕES, A. do N.; SOUZA, G. L. F. M. Armazenamento de melão amarelo, híbrido RX 20094, sob temperatura ambiente. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1 p. 76-79, 2004.

MENDONÇA, F. V. S.; MENEZES, J. B.; GOIS, V. A.; NUNES, G. H. S.; SOUZA, P. A. S.; MENDONÇA JÚNIOR, C.F. Armazenamento refrigerado de melão Orange Flesh. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 15-18, jan.-mar. 2005.

MENEZES, J. B.; CASTRO, E. B. de; PRAÇA, E. F.; GRANGEIRO, L. C.; COSTA, L. B. A. Efeito do tempo de insolação pós-colheita sobre a qualidade do melão amarelo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 1, p. 80-81, 1998.

MI/SIH/DDH. Melão: Ceará. **Frutiséries 2**, Brasília, set., 12f. 2003.

MILLA, A. El comercio mundial de melón. **Horticultura Internacional**, n. 9, p. 74-75, 1995.

MONNERAT, S. M.; PIZZI, T. R. M.; MAURO, M. A.; MENEGALLI, F. C. Osmotic dehydration of apples in sugar/salt solutions: Concentration profiles and effective diffusion coefficients. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 4, p. 604-610, 2010.

MONSIVAIS, P.; PERRIGUE, M. M.; DREWNOWSK, A. Sugars and satiety: does the type of sweetener make a difference? **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 86, n. 1, p. 116-123, 2007.

MORAIS, P. L. D.; SILVA, G. G.; MAIA, E. N.; MENEZES, J. B. Avaliação das tecnologias pós-colheita utilizadas e da qualidade de melões nobres produzidos para exportação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 214-218, 2009.

MRAD, N. D.; BONAZZI, C.; BOUDHRIOUA, N.; KECHAOUB, N. COURTOIS, F. Influence of sugar composition on water sorption isotherms and on glass transition in apricots. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 403-411, 2012.

MUGURUMA, M.; KATAYAMA K.; NAKAMURA, M.; YAMAGUCHI, M. Low-temperature osmotic dehydration improves the quality of intermediate moisture meats. **Meat Science**, v. 21, n. 2, p. 99-109, 1987.

MULLER, N. G.; FASOLO, D.; PINTO, F. P.; BERTÊ, R.; MULLER, F. C. Potencialidades fitoquímicas do melão (*Cucumis melo* L.) na região Noroeste do Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 2, p. 199-198, 2013.

MULLINS, C.A.; STRAW R.A. Cantaloupe varieties for fall production in Tennessee. **Tennessee Farm and Home Science**, p. 48-51, 1993.

MUNDADA, M.; HATHAN, B.S.; MASKE, S. Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pomegranate arils. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 1, p. 31-39, 2011.

MUNTADA, V.; GERSCHENSON, L. N.; ALZAMORA, S. M.; CASTRO, M. A. Solute infusion effects on texture of minimally processed kiwifruit. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 4, p. 616-620, 1998.

MUTHUKUMAR, M.; SARGUNAMANI, D.; SELVAKUMARA, N.; VENKATA RAO, J. Optimisation of ozone treatment for colour and COD removal of acid dye effluent using central composite design experiment. **Dyes and pigments**, v. 63, n. 2, p. 127-134, 2004.

NETCOMEX. “**Rio Grande do Norte reduz plantio e exportação de melão cai 40%**”. 2011. Disponível em http://www.netcomex.com.br/noticias_interna.php?q=6512bd43d9caa6e02c990b0a82652dca&idn=a4939072217b46203c4f5764cb4dac40 Acesso em: 26 ago. 2011.

NICOLAS, M. Z.; FERNANDEZ, P. C.; ARIAS, S. B.; MARTINEZ, P. R. *El melon*. Ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1989, 173 p.

NIETO, A. B.; SALVATORI, D. M.; CASTRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 2, p. 269-278, 2004.

NIETO, A. B.; VICENTE, S.; HODARA, K.; CASTRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. Osmotic dehydration of apple: Influence of sugar and water activity on tissue structure, rheological properties and water mobility. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 1, p. 104-114, 2013.

NOIPA, T.; SRIJARANAI, S.; TUNTULANI, T.; NGEONTAE, W. New approach for evaluation of the antioxidant capacity based on scavenging DPPH free radical in micelle systems. **Food Research International**, v. 44, n. 3, p. 798–806, 2011.

NÚMEROS. In: A BÍBLIA SAGRADA: tradução de João Ferreira de Almeida, 2ªed. Barueri-SP: Ed. SSB, 1993, 1152p.

NUÑEZ-MANCILLA, Y.; PÉREZ-WON, M.; URIBE, E.; VEGA-GÁLVEZ, A.; DI SCALA, K. Osmotic dehydration under high hydrostatic pressure: Effects on antioxidant activity, total phenolics compounds, vitamin C and colour of strawberry (*Fragaria vesca*). **LWT-Food Science and Technology**, v. 52, n. 2, p. 151-156, 2013.

NUÑEZ-MANCILLA, Y.; PEREZ-WON, M.; VEGA-GÁLVEZ, A.; ARIAS, V.; TABILO-MUNIZAGA, G.; BRIONES-LABARCA, V.; LEMUS-MONDACA, R.; DI SCALA, K. Modeling mass transfer during osmotic dehydration of strawberries under high hydrostatic pressure conditions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 3, p. 338-343, 2011.

NUÑEZ-PALENIUS, H. G.; GOMEZ-LIM, M.; OCHOA-ALEJO, N.; GRUMET, R., LESTER, G., & CANTLIFFE, D. J. Melon fruits: Genetic Diversity, Physiology, and Biotechnology Features. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 28, n. 1, p. 13-55, 2008.

OBANDO, J.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J. P.; MARTINEZ, J. A.; ALARCÓN, A. L., EDUARDO, I.; ARÚS, P.; MONFORTE, A. J. Identification of melon fruit quality quantitative trait loci using near-isogenic lines. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 133, n. 1, p. 139-151, 2008.

OCHOA-MARTINEZ, C. I.; RAMASWAMY, H. S.; AYALA-APONTE, A. A. A comparison of some mathematical models used for the prediction of mass transfer kinetics in osmotic dehydration of fruits. **Drying technology**, v. 25, n. 10, p. 1613-1620, 2007.

OLHAR DIRETO. Exportações aumentam 4% e Brasil fecha 2013 como terceiro produtor mundial de frutas – Ano 2014. Disponível em:

<http://www.olhardireto.com.br/agro/noticias/exibir.asp?noticia=Exportacoes_aumentam_4_e_Brasil_fecha_2013_como_terceiro_produto_mundial_de_frutas&id=13010>. Acesso em: 12 julho 2014.

OMS-OLIU, G.; ODRIOZOLA-SERRANO, I.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Effect of high-intensity pulsed electric field processing conditions on lycopene, vitamin C and antioxidant capacity of watermelon juice. **Food Chemistry**, v. 115, n. 4, p. 1312–1319, 2009.

ORAGUZIE, N.; ALSPACH, P.; VOLZ, R.; WHITWORTH, C.; RANATUNGA, C.; WESKETT, R.; HARKER, R. Postharvest assessment of fruit quality parameters in apple using both instruments and an expert panel. **Postharvest Biology and Technology**, v. 52, n. 3, p. 279–287, 2009.

PALIYATH, G.; MURR, D. P.; HANDA, A. K.; LURIE, S. **Postharvest Biology and Technology of Fruits, Vegetables and Flowers**. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2008.

PAN, Y. K.; ZHAO, L. J.; ZHANG, Y.; CHEN, G.; MUJUMDAR, A. S. Osmotic dehydration pretreatment in drying of fruits and vegetables. **Drying Technology**, v. 21, n. 6, p. 1101-1114, 2003.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R.; PARK, T. H. K. B. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 3, p. 293–298, 2002.

PATIST, A.; ZOERB, H. Preservation mechanisms of trehalose in food and biosystems. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 40, n. 2, p. 107–113, 2005.

PELEG, M. An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 4, p. 1216-1219, 1988.

PEREIRA, L. M. **Influência da desidratação osmótica com aditivos na estrutura celular e na manutenção da qualidade de goiabas minimamente processadas**. 2006. Tese

(Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 202p., 2006.

PEREIRA, L. M.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; BOLINI, H. M. A.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Texture Effect of calcium salts on the texture, structure and sensory acceptance of osmotically dehydrated guavas. **Journal of the Science of Food and Agriculture** , v. 87, n. 6, p. 1149-1156, 2007.

PONTING, J. D. Osmotic dehydration of fruits: recent modifications and application. **Process Biochemistry**. v. 8, p. 18-20, 1973.

PONTING, J. D.; WALTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v. 20, n. 10, p. 125-128, 1966.

RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, p. 255-260, 1994.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 34, n. 4, p. 429-440, 1997.

_____. Mass transfer during osmotic dehydration: Determination of moisture and solute diffusion coefficients from concentration profiles. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, n. 1, p. 44-48, 2004.

RIPE, M. J. **Obesity : prevention and treatment**. Edited James M. Ripe and Theodore J. Angelopoulos, 1th ed. Boca Raton : CRC Pres, FL, 417p. 2012.

RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Image analysis of osmotically dehydrated fruits: melons dehydration in a ternary system. **European Food Research and Technology**, v. 225, n. 5-6, p. 685-691, 2007.

RODRIGUES-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. **Fontes Brasileiras de Carotenóides - Tabela Brasileira de Composição de Carotenóides em Alimentos**. Brasília MMA/SBF, 100p. 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Omni Research Publ., Washington, DC, EUA, 64 p., 2001.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Quantitative analysis, in vitro assessment of bioavailability and antioxidant activity of food carotenoids – A review. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n.7, p. 726-740, 2010.

ROJAS-ESCUADERO, E.; ALARCÓN-JIMÉNEZ, A. L., ELIZALDE-GALVÁN, P.; ROJO-CALLEJAS, F. Optimization of carbohydrate silylation for gas chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1027, n. 1-2, p. 117–120, 2004.

ROMERO-DE SOTO, M. D.; GARCÍA-SALAS, P.; FERNÁNDEZ-ARROYO, S.; SEGURA-CARRETERO, A.; FERNÁNDEZ-CAMPOS, F.; CLARES-NAVEROS, B. Antioxidant Activity Evaluation of New Dosage Forms as Vehicles for Dehydrated Vegetables. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 68, n. 2, p. 200–206, 2013.

RÓZEK, A.; ACHAERANDIO, I.; GÜELL, C.; LÓPEZ, F.; FERRANDO, M. Grape phenolic impregnation by osmotic treatment: Influence of osmotic agent on mass transfer and product characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 1, p. 59-68, 2009.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURACALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 8 non-traditional tropical fruits from Brasil. **Food Chemistry**, v. 121, . 4, p. 996-1002, 2010.

RUIZ-LÓPEZ, I. I.; RUIZ-ESPINOSA, H.; HERMAN-LARA, E. Modeling of kinetics, equilibrium and distribution data of osmotically dehydrated carambola (*Averrhoa carambola* L.) in sugar solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 104, n. 2, p. 218-226, 2011.

RUIZ-MATUTE, A.I., HERNANDEZ-HERNANDEZ, O.; RODRIGUEZ-SANCHEZ, S.; SANZ, M. L.; MARTÍNEZ-CASTRO, I. Derivatization of carbohydrates for GC and GC-MS analyses. **Journal of Chromatography B**, v. 879, n. 17-18, p. 1226-124, 2011.

SACCHETTI, G.; GIANOTTI, A.; DALLA ROSA, M. Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2, p. 163-173, 2001.

SAFTNER, R.A.; LESTER, G. Sensory and analytical characteristics of a novel hybrid muskmelon fruit intended for the fresh-cut industry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 51, n. 3, p. 327–333, 2009.

SAFTNER, R.; ABBOTT, J. A.; LESTER, G.; VINYARD, B. Sensory and analytical comparison of orange-fleshed honeydew to cantaloupe and green-fleshed honeydew for fresh-cut chunks. **Postharvest Biology and Technology**, v. 42, n. 2, p. 150-160, 2006.

SAGAR, V. R.; SURESH KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review. **Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 1, p. 15–26, 2010.

SALVATORI, D.; ALZAMORA, S. M. Structural changes and mass transfer during glucose infusion of apples as affected by blanching and process variables. **Drying Technology**, v. 18, n. 1, p. 21-48, 2000.

SALVATORI, D.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A.; FITO, P. Osmotic dehydration progression in apple tissue I: spatial distribution of solutes and moisture content. **Journal of Food Engineering**, v. 42, n. 3, p. 125-132, 1999.

SÁNCHEZ-MORENO, C. Review: methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. **Food Science and Technology International**, v. 8, p. 121-137, 2002.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; NISHIYAMA, C.; HUBINGER, M. D. Qualidade final de melão osmoticamente desidratado em soluções de sacarose com adição de ácidos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1803-1810, 2002.

SANTCHURN; S. J.; COLLIGNAN, A.; TRYSTRAM, G. Impact of solute molecular mass and molality, and solution viscosity on mass transfer during immersion of meat in a complex solution. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 1188-1201, 2007.

SANZ, M. L.; SANZ, J.; MATRÍNEZ-CASTRO, I. Gas chromatographic–mass spectrometric method for the qualitative and quantitative determination of disaccharides and trisaccharides in honey. **Journal of Chromatography A**, v. 1059, p. 143–148, 2004.

SCHIRALDI, A.; SIGNORELLI, M.; FESSAS, D. Knudsen thermogravimetry approach to the thermodynamics of aqueous solutions. **The Journal of Chemical Thermodynamics**, v. 62, p. 79-85, 2013.

SCHMIDT, F. C.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Application of diffusive and empirical models to hydration, dehydration and salt gain during osmotic treatment of chicken breast cuts. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 4, p. 553-559, 2009.

SEAGRI. Secretaria de Agricultura e Pecuária. Produção e exportação de melão do Ceará - Safra 2003-2004. Fortaleza, 2003.

SEBRAE - SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Estatística das Exportações e Importações de Frutas Frescas, 2014. Disponível em: <<http://gestaoportal.sebrae.com.br/setor/fruticultura/fruticultura-imp-exp-1.pdf>>. Acesso em 12/07/2014.

SHAFER, F. Q.; KELLEY, E. E.; BUETTNER, G. R. Oxidative Stress and Antioxidant Intervention. In. *Critical Reviews of Oxidative Stress and Aging: Advances in Basic Science, Diagnostics and Intervention*, Ed Richard G. Cutler and Henry Rodriguez. World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Hong Kong. Volume II. Chapter 49, p. 849-869, 2003.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. Phenolics in Food and Nutraceuticals. CRC Press, p.403-427, 2004.

SHI, J.; PAN, Z.; McHUGH, T. H.; HIRSCHBERG, E. Effect of infusion method and parameters on solid gain in blueberries. **Food and Bioprocess Technology**, v. 2, n. 3, p. 271-278, 2009.

SIDRA – **SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/>. Acesso em 31 julho 2009.

SILVA, M. C. de C. **Crescimento, produtividade e qualidade do meloeiro sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e cobertura do solo**. 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró, 2002.

SINGH, B.; PANESAR, P. S.; NANDA, V. Osmotic dehydration kinetics of carrot cubes in sodium chloride solution. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, p. 1361–1370, 2008.

SOGI, D. S.; SIDDIQ, M., DOLAN, K. D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. **LWT – Food Science and Technology**, doi: 10.1016/j.lwt.2014.04.015, 2014.

SORIA, A. C.; SANZ, M. L.; VILLAMIEL, M. Determination of minor carbohydrates in carrot (*Daucus carota* L.) by GC-MS. **Food Chemistry**, v. 114, p. 758-762, 2009.

SORMANI, A.; MAFFI, D.; BERTOLO, G.; TORREGGIANI, D. Textural and structural changes of dehydrofreeze-thawed strawberry of slices: Effects of different dehydration pretreatments. **Food Science and Technology International**, v. 5, n. 6, p. 479-485, 1999.

SOURAKI, A. B.; GHAFFARI, A.; BAYAT, Y. Mathematical modeling of moisture and solute diffusion in the cylindrical green bean during osmotic dehydration in salt solution. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 1, p. 64-71, 2012.

STATSOFT, Inc. STATISTICA for Windows [Computer program manual].Tulsa, OK: StatSoft, Inc., Tulsa, OK, EUA, 1995.

STEJSKAL, V., VEJSADA, P., CEPÁK, M., ŠPICKA, J., VACHA, F., KOURIL, J., POLICAR, T. Sensory and textural attributes and fatty acid profiles of fillets of extensively and intensively farmed Eurasian perch (*Pera fluviatilis* L.). **Food Chemistry**, v. 129, n. 3, p. 1054–1059, 2011.

STOJANOVIC, J.; SILVA, J. L. Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. **Food Chemistry**, v. 101, p. 898-906, 2007.

SUPAPVANICH, S.; TUCKER, G. A. Physicochemical changes in fresh-cut Honeydew melon fruit during storage. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 12, p. 2737-2742, 2011.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 63-68, 1959.

SWINDELLS, J. F.; SNYDER, C. F.; HARDY, R. C.; GOLDEN, P. E. Supplement to National Bureau of Standards Circular 440, Table 132, 1958.

TACO. TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS / NEPA – UNICAMP, CAMPINAS: NEPA-UNICAMP, 2006. 113P.

TAIWO, K. A.; ESTHIAGHI, M. N.; ADE-OMOWAYE, B. I. O.; KNORR, D. Osmotic dehydration of strawberries: influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics. **International Journal of Food Science Technology**, v. 38, p. 693-707, 2003.

TEDJO, W.; TAIWO, K.; ESTHIAGI, M. N.; KNORR, D. Comparison of pretreatment methods on water and solids diffusion kinetics of osmotically dehydrated mangos. **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 133-142, 2002.

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

THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K; CISNEROSZEVALLOS, L.; BYRNE, D. H. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 669-675, 2006.

TODAFRUTA. “**Que melão é esse?**”. 2007. Disponível em http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?conteudo=14956> Acesso em: 31 jul. 2009.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 4, p. 509–517, 2007.

TORREGGIANI D., BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 247-253, 2001.

TORRES, J. M. Los tipos de melón comerciales. In: VALLESPÍR, A.N. ed. *Melones*. Madrid: Ediciones de Horticultura, S.L., 1997, p.13-20.

TURHAN, M.; SAYAR, S.; GUNASEKARAN, S. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking, **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 153-159, 2002.

UNITED NATION ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE. Melon: UNECE Standard FFV-23 concerning marketing and commercial quality control of MELONS 2006 edition. United Nation, New York, 2006.

USDA, 2006. U.S. Department of Agriculture. Economic Reporting Service, 2006. [http://www.ers.usda.gov/publications/outlook/12 December2006.htm](http://www.ers.usda.gov/publications/outlook/12%20December2006.htm)

VIAL, C.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content, **Sciences des aliments**, v. 11, p. 63-84, 1991.

VICENTE, S.; NIETO, A. B.; HODARA, K.; CASTRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. Structure, rheology, and water mobility of apple tissue induced by osmotic dehydration with glucose or trehalose. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 3075–3089, 2012.

VILLANUEVA, M. J.; TENÓRIO, M. D.; ESTEBAN, M. A.; MENDONZA, M. C. Compositional changes during ripening of two cultivars of muskmelon fruits. **Food Chemistry**, v. 87, p. 179-185, 2004.

WALDRON, K. W.; PARKER, M. L., SMITH, A. C. Plant cell walls and food quality. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 2, p. 128–146, 2003.

WALDRON, K. W.; SMITH, A. C.; PARR, A. J.; NG, A.; PARKER, M. L. New approaches to understanding and controlling cell separation in relation to fruit and vegetable texture. **Trends in Food Science and Technology**, v. 8, p. 213–221, 1997.

WANG, R.; ZHOU, W.; ISABELLE, M. Comparison study of the effect of green tea extract (GTE) on the quality of bread by instrumental analysis and sensory evaluation. **Food Research International**, v. 40, n. 4, p. 470–479, 2007.

WHITE, J. S. Straight talk about high-fructose corn syrup: what it is and what it ain't. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 88, p. 1716S-1721S, 2008.

WILLFÖR, S.; PRANOVICH, A.; TAMMINEN, T.; PULS, J.; LAINE, C.; SUURNAKKI, A.; SAAKE, B.; SIRÉN, H.; UOTILA, K.; SIMOLIN, H.; ROVIO, S.; HEMMING, J.; HOLMBOM, B. Carbohydrate analysis of plant materials with uronic acid-containing polysaccharides – A comparison between different hydrolysis and subsequent chromatographic analytical techniques. **Industrial Crops and Products**, v. 29, p. 571–580, 2009.

WOLBANG, C. A.; SINGH, D. P.; SYKES, S. R.; MCINERNEY, J. K., BIRD, A. R.; TREEBY, M. T. Influence of pre- and postharvest factors on β -carotene content, its in vitro bioaccessibility, and antioxidant capacity in melons. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 58, n. 3, p. 1732–1740, 2010.

YANG, D. C.; LEMAGUER, M. Osmotic dehydration of strawberries in a batch recirculation system, **Journal of food quality**, v. 15, n. 6, p. 387-397, 1992.

ZDUNEK, A.; CYBULSKA, J.; KONOPACKA, D.; RUTKOWSKI, K. Evaluation of apple texture with contact acoustic emission detector: a study on performance of calibration models. **Journal of Food Engineering**, v. 106, n. 1, p. 80–87, 2011.

ZHAO, D.; ZHAO, C.; TAO, H.; AN, K.; DING, S.; WANG, Z. The effect of osmosis pretreatment on hot-air drying and microwave drying characteristics of chili (*Capsicum annuum* L.) flesh. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 8., p. 1589–1595, 2013.

ZHAO, J. H.; HU, R.; XIAO, H. W.; YANG, Y.; LIU, F.; GAN, Z. L.; NI, Y. Y. Osmotic dehydration pretreatment for improving the quality attributes of frozen mango: effects of different osmotic solutes and concentrations on the samples. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 4, p. 960-968, 2014.

ZIMMERMANN, S. B.; MINTON, A. P. Macromolecular crowding: biochemical, biophysical, and physiological consequences. **Annual review of biophysics and biomolecular structure**, v. 22, n. 1, p. 27-65, 1993.

8 ANEXO

8.1 Características do MOR-REX ® 1940 usado como agente osmótico.



Certificado de Qualidade

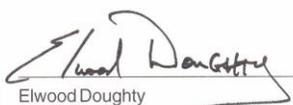
Mogi Guaçu, 10/01/2012

Fábrica: MOGI GUAÇU		
Produto: GLUCOSE DESIDRATADA		
Marca: MOR REX ® 1940		
Lote: 0000575835	Fab.: 17/10/2011	Val.: 16/10/2012

Análises	Resultados
Umidade, %	2,8
Dextrose Equivalente, %	40,0
pH	4,5
Aspecto Maltodextrina	A
SO ₂ , ppm	0
Contagem Total Bactérias, UFC/g	10
Bolores e Leveduras, UFC/g	10
Coliforme Total, NMP/g	Ausente
Coliforme Fecal, NMP/g	Ausente
E.coli, NMP/g	Ausente
Bacillus cereus, UFC/g	0
Staphylococcus aureus, UFC/g	Ausente
Clostridio Sulfito Redutor/g	Ausente
Salmonella/Shigella, UFC/g	Ausente
Infestação,/100g	Ausente

8.2 Certificado do padrões de dissacarídeos

<i>Certificate of Composition</i>		
DESCRIPTION: Disaccharides Kit		
CATALOG NO.: 47268-U	MFG DATE: Sep-2010	
LOT NO.: LB78786	EXPIRATION DATE: Sep-2013	
PRODUCT NUMBER	DESCRIPTION	SUPELCO LOT NO.
R422220	Sucrose	LB74625
R473895	Isomaltose	LB75006
R473900	Alpha Lactose, Monohydrate	LB20370
R474145	Maltose Monohydrate	LB77643


Elwood Doughty
QA Manager

Supelco warrants that its products conform to the information contained in this publication. Purchaser must determine the suitability of the product for its particular use. Please see the latest catalog or order invoice and packing slip for additional terms and conditions of sale.


595 North Harrison Road • Bellefonte, PA
16823-0048 USA • Phone (814) 359-3441