



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de São José do Rio Preto

Flaviana Andrade Faria

**Propriedades físico-químicas de abacate submetido à secagem
convectiva e desidratação osmótica**

São José do Rio Preto

2012

Flaviana Andrade Faria

**Propriedades físico-químicas de abacate submetido à secagem
convectiva e desidratação osmótica**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de São José do Rio Preto.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida
Mauro

São José do Rio Preto

2012

Faria, Flaviana Andrade.

Propriedades físico-químicas de abacate submetido à secagem convectiva e desidratação osmótica / Flaviana Andrade Faria. - São José do Rio Preto : [s.n.], 2012.

109 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Maria Aparecida Mauro

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de

Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Frutas - Desidratação. 3. Desidratação osmótica. 4. Abacate – Físico-química. 5. Abacate – Termodinâmica. I. Mauro, Maria Aparecida. II. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. III. Título.

CDU – 664.854

Flaviana Andrade Faria

**Propriedades físico-químicas de abacate submetido à secagem
convectiva e desidratação osmótica**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de São José do Rio Preto.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro

Professor Assistente Doutor

UNESP – São José do Rio Preto

Orientador

Prof^a. Dr^a. Patricia de Carvalho Damy Benedetti

Professor Doutor

UNILAGO – São José do Rio Preto

Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira

Professor Assistente Doutor

UNESP – São José do Rio Preto

São José do Rio Preto, 03 de Maio de 2012.

À Deus

*Agradeço por me dar forças,
disposição, saúde, paz, amor e fé
para enfrentar a batalha.*

*À Minha Mãe Rosária, pela
dedicação e apoio à minha formação
profissional e por todo amor a mim
dedicado.*

*À meu irmão, Flávio
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mauro, pela orientação e oportunidade proporcionada para a realização deste trabalho.

À Mestre Juliane Viganó, por todo apoio, incentivo, sugestões, ensinamentos, acreditando e ajudando com muita determinação, seriedade, e, principalmente, pela amizade e confiança.

Ao Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, aos funcionários Sueli e Pincelli, agradeço pelo auxílio e informação.

À coordenação de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos pelo suporte.

Aos Técnicos do Laboratório, Luiz, Jesuíno e Newton, que contribuíram para a realização do projeto e, em especial, ao Ginaldo, pela amizade, apoio e paciência.

À equipe de trabalho do Laboratório de Processos e Análises, Lidimara, Diego, Molina, pela amizade e, em especial, a Letícia, pela sua sabedoria e humildade, sempre me estendendo a mão para eu não desistir, contribuindo muito na realização deste trabalho.

Aos meus amigos Catierine, Wagner, Maria Clara, Michely, Marc, Patrícia, Jaqueline, Caroline, Tatiane, Teresa, Harvey, Ana Karla, Juliana e Paulo, pelo companheirismo durante o curso e pelo imenso carinho, minha sincera amizade e gratidão.

Ao CEAGESP – São José do Rio Preto, que contribuíram na execução do trabalho, fornecendo produtos de qualidade.

A CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, ajudaram na execução deste trabalho.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin (1889-1977)

RESUMO

O abacate (*Persea americana* Mill.) é uma fruta muito popular que destaca-se pela sua qualidade nutricional e composição em substâncias bioativas capazes de prevenir e controlar diversas doenças. Na literatura há ainda pouca informação reportada sobre processamento da polpa de abacate, seja para viabilizá-la para a extração e o refino do óleo, seja para seu consumo direto em diferentes formas de apresentação. O presente trabalho tem como objetivo investigar a secagem da polpa dos frutos de abacate da variedade Fortuna, como um pré-processamento para processos de extração e refino do óleo, assim como a desidratação osmótica dessa mesma polpa, como um processo mínimo para obtenção da fruta para consumo direto. A influência da temperatura e do branqueamento térmico sobre propriedades de sorção da polpa de abacate foi avaliada por meio das isotermas às temperaturas de 30°C, 50°C e 70°C. Ensaio de secagem determinaram o efeito do branqueamento térmico e da temperatura sobre a cinética de secagem convectiva com ar aquecido a 50, 60 e 70°C. Ensaio de desidratação osmótica de fatias de abacate em solução de sacarose com adição de ácido cítrico foram conduzidos para determinação da cinética do processo e caracterização físico-química do produto. Os modelos matemáticos de BET, GAB, Halsey, Henderson, Peleg e Oswin foram ajustados aos dados experimentais de sorção de água obtidos para abacate fresco e branqueado. Todos os modelos testados apresentam ajustes satisfatórios, porém o modelo de GAB, com três parâmetros, e o de Peleg, com quatro, foram os que melhor descreveram as isotermas. Segundo a classificação de Brunauer, a forma das isotermas de desorção do abacate fresco e branqueado determinadas a 30°C, 50°C e 70°C, são do tipo III ou estão entre o tipo II e o III (levemente sigmoidal). A cinética de secagem foi determinada observando-se a redução do conteúdo de umidade em função do tempo. Verificou-se semelhança entre amostras *in natura* e amostras branqueadas. O calor isotérico líquido e a entropia de sorção foram calculados para abacate fresco e branqueado, baseando-se nas isotermas de sorção ajustadas pelo modelo de GAB. O calor isostérico líquido de sorção, estimado a partir da equação de Clausius-Clapeyron, aumentou com a diminuição do conteúdo de umidade. A difusividade efetiva (D_{ef}) foi obtida pela aplicação da Lei de Fick, que descreve a secagem no período de taxa decrescente. O modelo, aplicado a placas, foi ajustado aos resultados experimentais e a eficiência dos ajustes foi boa. Na secagem a 50°C e 60 °C, a D_{ef} resultou em valores médios de $6,1 \times 10^{-10}$ m²/s e $9,3 \times 10^{-10}$ m²/s para amostras frescas e de $6,9 \times 10^{-10}$ m²/s e $9,1 \times 10^{-10}$ m²/s para amostras branqueadas. A 70°C os resultados foram semelhantes entre as duas amostras, porém, superiores às outras temperaturas de secagem, resultando em $1,1 \times 10^{-9}$ m²/s. Concluiu-se que a elevação da temperatura influencia positivamente a secagem, por aumentar consideravelmente a difusão, e que o branqueamento térmico não exerce efeito considerável sobre a difusividade da água nas temperaturas de secagem estudadas. Na desidratação osmótica, as fatias de abacate foram imersas em soluções aquosas de sacarose a 50%, sem e com adição de ácido cítrico em concentrações de 1% e 2%, na proporção

amostra/solução de 1:25, a 25°C com agitação de 1000 rpm, durante quatro horas. Houve uma maior redução no conteúdo de água dos frutos em solução de sacarose com adição de ácido cítrico. Na cinética de desidratação osmótica observou-se que a variação de massa foi proporcional à retirada de água, sendo os valores de perda de água superiores aos de ganho de solutos, principalmente nas amostras em solução de sacarose com adição de ácido cítrico, determinando a melhor eficiência de processo nessas soluções. A cinética de desidratação osmótica foi descrita pelo modelo de Fick. O modelo foi ajustado aos dados experimentais de água e sacarose através da difusividade. O ajuste foi mais eficiente com os dados de conteúdo de água, apresentando coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,95. Os resultados obtidos sugerem que o uso do ácido cítrico na solução osmótica é promissor, visto que, além de atuar na preservação da cor, aumentou significativamente a perda de água das amostras. O trabalho apresenta um conjunto de resultados experimentais que inclui propriedades físicas, termodinâmicas, cinética de secagem e de desidratação osmótica, de polpa de frutos de abacate, um produto pouco estudado e de utilização bastante difundida.

Palavras-chave: *Persea americana* Mill., isotermas de equilíbrio, secagem convectiva, desidratação osmótica

ABSTRACT

The avocado (Persea americana Mill.) is a popular and it is very important fruit by its nutritional quality and composition in bioactive substances which are able to prevent and control several diseases. There is a lack of scientific researches on avocado pulp processing, both for pre-treatment to further extract and refine the oil and for minimum processing of ready-to-eat products. Therefore, the aim of this work was to investigate the air-drying of the Fortuna avocado fruit as a pre-treatment for oil extraction and refining, as well as the osmotic dehydration, aiming to obtain a minimum processed product. The water sorption data of fresh and blanched avocado pulp were determined at 30°C, 50°C and 70°C. The BET, GAB, Halsey, Henderson, Peleg and Oswin mathematical models were fitted to the equilibrium moisture experimental data. All the tested models presented satisfactory fitting, but the GAB model, with three parameters, and the Peleg, with four, were the ones which best described the isotherms. According to the Brunauer classification, the isotherm desorption form of fresh and blanched avocado determined at 30°C, 50°C and 70°C was of type III or are of the type II and III (slightly sigmoidal). The drying kinetics was determined for 50, 60 and 70°C temperatures, according to the moisture content reduction in relation to the time. Fresh and blanched samples show similar results. The net isosteric heat and entropy of sorption were calculated for fresh and blanched avocado, based on sorption isotherm fit by GAB model. The net isosteric heat of sorption, estimated by applying Clausius-Clapeyron equation, increased with moisture content decrease. The effective diffusivity (Def) was obtained by the use of the Fick diffusion theory which describes drying in the decreasing rate period. The model was fitted to experimental data. At the 50°C and 60°C drying, the Def result was $6,1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ and $9,3 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ for fresh samples and $6,9 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ e $9,1 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ for blanched samples. At 70°C, the results were also similar in both samples, but higher than the other drying temperatures, resulting in $1,1 \times 10^{-9}$ and $1,1 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ in fresh and blanched samples, respectively. It was conclude that the temperature rise influences the drying process positively, and the thermal blanching does not affect the water diffusivity at the studied drying temperatures. Concerning the osmotic dehydration, the avocado slices were submerged in sucrose solutions at 50% and citric acid at 1% and 2% in the proportion sample/solution of 1:10, at 25°C with stirring rate of 1000 rpm during four hours. There was a greater reduction in water content of the fruit in sucrose solution with the addition of citric acid in comparison to solution without citric acid. In the osmotic dehydration kinetics, the mass reduction was proportional to the water removal, and the water loss was higher than the mass variation, mainly in the samples in a sucrose solution with the addition of citric acid, determining the most efficient process such solutions. Kinetics of the osmotic dehydration were represented by the Fick's Law. The model fitted better the water content data, which coefficients of determination (R^2) were above 0.95. The results show that the citric acid is useful as a dehydrating agent, since it was effective for the sample water removal and to

preserve the color. This work presents experimental results about physical and thermodynamics properties, drying and osmotic dehydration kinetics, of avocado fruit pulp. Despite being extensively consumed, there is a lack of research about this fruit.

Key words: *Persea Americana Mill., equilibrium isotherms, convective drying, osmotic dehydration*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Modelos matemáticos para ajustes de isotermas de sorção	56
Tabela 2.	Composição físico-química do abacate variedade Fortuna na matéria fresca	62
Tabela 3.	Umidades de equilíbrio (g água/g sólidos secos) do abacate fresco e branqueado em função das temperaturas e atividades de água dos sais utilizados	64
Tabela 4.	Parâmetros dos ajustes das isotermas de sorção do abacate fresco e branqueado para os diferentes modelos matemáticos	65
Tabela 5.	Comparação do teor de gordura do abacate fresco e branqueado termicamente	74
Tabela 6.	Valores médios do peso dos frutos inteiros e da espessura das fatias de abacate <i>in natura</i> na secagem convectiva	76
Tabela 7.	Valores médios de umidade e atividade de água de abacate fresco e branqueado	77
Tabela 8.	Comparação do teor de gordura do abacate Fortuna verde e maduro	79
Tabela 9.	Valores do coeficiente de difusão de abacate fresco e branqueado	81
Tabela 10.	Valores médios do peso dos frutos inteiros e da espessura das fatias de abacate <i>in natura</i> na desidratação osmótica	83
Tabela 11.	Valores obtidos na cinética da desidratação osmótica de abacate var. Fortuna	84
Tabela 12.	Valores de umidade, pH, a_w , acidez, sólidos solúveis e açúcares redutores e totais em amostras frescas e desidratadas osmoticamente....	88
Tabela 13.	Valores de umidade e açúcares redutores e totais em amostras frescas e no equilíbrio	90
Tabela 14.	Valores do coeficiente de difusão da água e da sacarose de abacate fresco e branqueado	91
Tabela 15.	Valores médios dos parâmetros de cor em amostras frescas e desidratadas osmoticamente	93

Tabela 16.	Valores dos parâmetros de cor em amostras frescas e secas	
	convectivamente.....	94

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Os cinco Tipos de isotermas de sorção segundo Brunauer	34
FIGURA 2.	Frutos de abacate em diferentes etapas de processo	45
FIGURA 3.	(a) Potes contendo as soluções salinas, (b) Fatias de abacate e (c) Amostras preparadas	47
FIGURA 4.	Secador convectivo	48
FIGURA 5.	Cuba de desidratação osmótica	50
FIGURA 6.	Micrômetro digital	50
FIGURA 7.	Estufa a vácuo	51
FIGURA 8.	Refratômetro digital	52
FIGURA 9.	NOVASINA Aw Sprint	52
FIGURA 10.	Hunter Lab Mini Scan XE Plus	54
FIGURA 11.	Ajustes experimentais e calculados pelo modelo de GAB para isotermas de equilíbrio de abacate fresco a 30, 50 e 70°C	69
FIGURA 12.	Ajustes experimentais e calculados pelo modelo de GAB para isotermas de equilíbrio de abacate branqueado a 30, 50 e 70°C	69
FIGURA 13.	Curvas do logaritmo neperiano da atividade de água (decimal), para valores específicos do teor de água de equilíbrio (% b.s.), em função de valores do inverso da temperatura absoluta do ar (K) para abacate fresco	70
FIGURA 14.	Curvas do logaritmo neperiano da atividade de água (decimal), para valores específicos do teor de água de equilíbrio (% b.s.), em função de valores do inverso da temperatura absoluta do ar (K) para abacate branqueado	71
FIGURA 15.	Curvas isostéricas de dessorção em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.), baseadas na equação de Clausius-Clapeyron para abacate fresco	72
FIGURA 16.	Curvas isostéricas de dessorção em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.), baseadas na equação de Clausius-Clapeyron para abacate branqueado	72

FIGURA 17. Curvas da entropia de dessorção em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.), para abacate fresco	75
FIGURA 18. Curvas da entropia de dessorção em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.), para abacate branqueado	75
FIGURA 19. Cinética de secagem do abacate fresco e branqueado a 50, 60 e 70°C	78
FIGURA 20. Comparação entre umidade (adimensional) experimental e calculada, através do modelo de Fick, em função do tempo de secagem de abacate fresco a 50, 60 e 70°C	82
FIGURA 21. Comparação entre umidade (adimensional) experimental e calculada, através do modelo de Fick, em função do tempo de secagem de abacate branqueado a 50, 60 e 70°C	82
FIGURA 22. Variação de massa em função do tempo para as soluções osmóticas com sacarose e ácido cítrico	86
FIGURA 23. Perda de água massa em função do tempo para as soluções osmóticas com sacarose e ácido cítrico.....	86
FIGURA 24. Ganho de sólidos em função do tempo para as soluções osmóticas com sacarose e ácido cítrico	87
FIGURA 25. Eficiência em função do tempo para as soluções osmóticas com sacarose e ácido cítrico	87
FIGURA 26. Comparação da redução do teor de umidade com o tempo para os diferentes tratamentos osmóticos	89
FIGURA 27. Difusividade da água com o tempo para os diferentes tratamentos osmóticos	91
FIGURA 28. Difusividade da sacarose com o tempo para os diferentes tratamentos osmóticos	92

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS	21
1.1.1	Objetivos Gerais	21
1.1.2	Objetivos Específicos	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	ABACATE	23
2.1.1	Aspectos botânicos	23
2.1.2	Produtividade	24
2.1.3	Variedade Fortuna	24
2.1.4	Aspectos nutricionais	25
2.1.5	Utilização e consumo	26
2.2	BRANQUEAMENTO	27
2.3	OFF-FLAVORS EM ABACATE	29
2.4	ATIVIDADE DE ÁGUA (a_w)	32
2.5	ISOTERMAS DE SORÇÃO	32
2.5.1	Tipos de Isotermas	33
2.5.2	Determinação das Isotermas e Modelagem Matemática	34
2.6	SECAGEM CONVECTIVA	35
2.7	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	37
2.7.1	Agentes Desidratantes	38
2.7.2	Agentes Acidificantes/Antioxidantes	39
2.7.3	Processos da Desidratação Osmótica	40
2.8	COR	42
3	MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1	OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	44
3.2	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	44
3.3	COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	45
3.4	BRANQUEAMENTO	45
3.5	TESTE DA PEROXIDASE	45

3.6	ISOTERMAS DE SORÇÃO	46
3.7	SECAGEM CONVECTIVA	47
3.8	DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA EM CUBA	49
3.9	MÉTODOS ANALÍTICOS	50
3.9.1	Determinação da Espessura	50
3.9.2	Teor de Sólidos Totais	51
3.9.3	pH	51
3.9.4	Sólidos Solúveis	51
3.9.5	Acidez Titulável	52
3.9.6	Atividade de Água (a_w)	52
3.9.7	Açúcares Redutores e Açúcar Total	53
3.9.8	Cinzas	53
3.9.9	Carboidratos Totais	53
3.9.10	Proteínas	53
3.9.11	Lipídios	54
3.10	COR	54
3.11	MODELOS MATEMÁTICOS	55
3.11.1	Isotermas de Dessorção	55
3.11.2	Propriedades Termodinâmicas	56
3.11.3	Calor isostérico líquido de sorção (q_{st})	57
3.11.4	Entropia diferencial (ΔS)	57
3.11.5	Cinética da Secagem	58
3.11.6	Cinética da Desidratação Osmótica	58
3.12	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1	ATIVIDADES DE ÁGUA E ISOTERMAS DE SORÇÃO	63
4.2	PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS	70
4.3	CINÉTICA DA SECAGEM CONVECTIVA	76
4.3.1	Efeito da temperatura e do pré tratamento sobre a taxa de secagem em fatias de abacate fresco e branqueado	77

4.3.2	Coeficiente de difusão efetivo	81
4.4	CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	83
4.4.1	Coeficiente de difusão efetivo	90
4.5	AVALIAÇÃO DA COR	92
5.	CONCLUSÕES	96
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	98
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura representa um importante segmento na estrutura sócio-econômica do Brasil. O abacate (*Persea americana* Mill.) está entre as frutas mais vendidas no mundo, podendo ser caracterizada como uma das culturas de grande importância ao agronegócio, destacando-se pela sua qualidade nutricional.

Frutos que apresentam altos teores de lipídeos na polpa podem constituir-se em uma matéria-prima importante para obtenção de óleo. O óleo de abacate assemelha-se muito com o óleo de oliva, por ser extraído da polpa dos frutos e pela similaridade de suas propriedades físico-químicas, principalmente pela composição de seus ácidos graxos, predominando em ambos o ácido oleico (CANTO et al., 1980; BLEINROTH; CASTRO, 1992; SOARES et al., 1992; TEIXEIRA et al., 1992).

O pequeno volume de óleo de abacate produzido atualmente por alguns países é utilizado na sua forma bruta, pelas indústrias farmacêuticas e de cosméticos, notadamente pelas suas características físicas e químicas, uma vez que a fração insaponificável, responsável por propriedades regenerativas da epiderme, faz parte de sua composição em quantidades elevadas. Além dessa propriedade, o óleo de abacate apresenta: fácil absorção pela pele, sendo usado como veículo de substâncias medicinais; poder de absorção de perfumes, de grande valia para a indústria de cosméticos; fácil formação de emulsão, tornando-o ideal para fabricação de sabões finos e, se refinado, pode ser usado para fins alimentícios (CANTO et al., 1980; TEIXEIRA et al., 1992).

O óleo de abacate possui em sua composição substâncias bioativas capazes de prevenir e controlar diversas doenças. Associado aos seus benefícios, o abacate corresponde às expectativas de um produto funcional, por isso vem se tornando um grande aliado na área da saúde e também para ser utilizado como matéria-prima na indústria alimentícia. Por outro lado, ainda se perde muito da produção frutícola durante a fase pós-colheita, em função do desconhecimento de técnicas de conservação, ocasionando o desperdício de toneladas de recursos alimentares. Estas perdas se devem principalmente à sensibilidade dos alimentos aos diferentes

fatores como calor, pH, oxigênio, luz, umidade ou à combinação destes (HENRY; MASSEY, 2001; HENRY; HEPPELL, 2002).

As perdas de frutas em países em desenvolvimento giram em torno de 10% a 40% o que justificaria a utilização de processos capazes de conservar tais produtos por um tempo maior (EL-AOUAR ; MURR, 2003).

A demanda por alimentos processados que mantenham suas características sensoriais as mais próximas possíveis dos produtos originais, tem aumentado sensivelmente nos últimos anos. Grande atenção tem sido dada aos processos tecnológicos que contribuam para minimizar os efeitos adversos provocados nos alimentos, de forma a manter a melhor qualidade do produto final.

A extração do óleo de abacate é realizada quando os frutos estão maduros, isto é, com consistência mole, fase em que os teores de óleo estão mais elevados. O principal obstáculo para obtenção do óleo de abacate é o alto teor de umidade presente na polpa, afetando o rendimento da extração.

A água é um dos principais componentes responsáveis pelas perdas dos alimentos, levando a modificações das propriedades físicas e químicas dos produtos. Uma das maneiras de se conhecer o conteúdo de umidade dos produtos alimentícios é através das isotermas de sorção. O estudo das isotermas fornece informações relevantes para adequação dos parâmetros de secagem e conseqüentemente torna-se uma característica fundamental durante os processos de manuseio, processamento, e armazenamento dos alimentos (LABUZA, 1986).

É importante que os alimentos mantenham a cor, o aroma e o sabor o mais próximo do produto *in natura*, proporcionado por uma textura agradável mesmo depois de processado. Durante o processamento de abacate, principalmente após o descascamento e corte, ocorrem sucessivas reações químicas na superfície do tecido, provocando o escurecimento enzimático, levando à perda de qualidade visual e conseqüente prejuízo econômico sobre o produto.

Dentre as estratégias de prevenção do escurecimento enzimático, estão a diminuição do pH, pela acidificação do meio, o branqueamento térmico, tratamentos a alta pressão (WEEMAES et al., 1998), dentre outros. A acidificação limita a ação das enzimas, que só catalisam as reações envolvidas em uma

determinada faixa de pH, o branqueamento térmico tem a finalidade de inativar as enzimas pela ação do calor, por meio de tratamento com água quente ou vapor, o que geralmente é aplicado a frutas e vegetais (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010) e por tratamento a alta pressão, a enzima polifenol oxidase também perde sua atividade (WEEMAES et al., 1998).

O objetivo dos métodos de preservação durante o processamento de alimentos é conseguir que as alterações nas propriedades originais da matéria-prima ocorram de forma controlada, possibilitando o aumento da vida de prateleira do produto, além de ser utilizado como suplemento alimentar, que no caso do abacate é bastante favorável por ser um produto com características funcionais relevantes para a saúde.

Buscando facilitar a procura dos consumidores por alimentos mais saudáveis, a desidratação osmótica proporciona o desenvolvimento de produtos prontos para o consumo com qualidades nutricionais e sensoriais atrativas.

A desidratação osmótica consiste basicamente na remoção de umidade dos alimentos quando estes são imersos em uma solução hipertônica, porém, este método geralmente não fornece produtos com umidade suficientemente baixa para ser considerado estável em prateleira sob temperatura ambiente. Portanto, esse processo é normalmente utilizado como uma etapa anterior a outros processos como a liofilização, secagem a ar quente ou micro-ondas, ou então para produtos minimamente processados que serão armazenados sob refrigeração.

A secagem de alimentos frequentemente tem como objetivo aumentar sua estabilidade, mas também pode facilitar o processo de extração de óleo em alimentos muito úmidos, como é o caso do abacate.

A associação de operações e processos adequados durante a fabricação de um determinado produto pode garantir a sua manutenção e a qualidade final deste.

O uso do óleo de abacate na alimentação humana bem como de seus produtos processados são ainda pouco explorados, visto que a qualidade destes interferem muito no custo de produção, o que normalmente está associado aos processos de extração do óleo, por apresentar baixo rendimento e queda da qualidade devido ao elevado teor de umidade da polpa; o escurecimento

enzimático do material e ao aparecimento de sabor amargo dos frutos quando estes são submetidos a tratamento térmico.

Por ser uma matéria-prima perecível, estudar os parâmetros de secagem de abacate pode contribuir na redução com os custos de armazenamento e seu possível aproveitamento para posteriores processos de extração e refino do óleo, já que a alta concentração de óleo nos frutos e as diferentes épocas de maturação são algumas das características essenciais para a viabilidade da implantação de novos projetos de pesquisa nesta área, objetivando a produção em larga escala do óleo para fins alimentícios em substituição ao azeite de oliva que é importado e altamente consumido no país.

Com o desenvolvimento da pesquisa proposta, pretende-se contribuir para o aprimoramento do sistema de processamento de abacate, através da investigação de processos de desidratação e da determinação das propriedades físico-químicas da matéria-prima e dos produtos obtidos, tendo em vista o seu aproveitamento para posteriores processos de extração e refino do óleo ou de produtos para consumo direto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Com o intuito de buscar novas tecnologias de processamento da polpa de frutos de abacate, o objetivo deste trabalho foi estudar a secagem por convecção, com e sem branqueamento térmico, assim como a desidratação osmótica desse fruto, e avaliar a influência desses processos sobre as propriedades físico-químicas e termodinâmicas dos produtos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da temperatura e do branqueamento térmico sobre isotermas de sorção de polpa de abacate;
- Testar diferentes modelos matemáticos através de ajustes, para representar as isotermas de sorção;
- Avaliar o efeito da temperatura e do branqueamento sobre a cinética de secagem de abacate;
- Determinar a difusividade da umidade através do ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais de secagem;
- Determinar o calor de sorção e a entropia do abacate fresco e branqueado termicamente;
- Investigar o efeito do ácido cítrico empregado na solução osmótica, sobre as propriedades físico-químicas de frutos de abacates desidratados osmoticamente;
- Investigar a cinética da desidratação osmótica da polpa de abacate;
- Determinar a difusividade da água e da sacarose através do ajuste do modelo de Fick aos dados experimentais de desidratação osmótica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ABACATE

2.1.1 Aspectos botânicos

O abacateiro (*Persea americana* Mill.) é uma árvore frutífera originária do continente americano, pertencente à família Lauraceae, gênero *Persea*. Apresenta três espécies e variedades hortícolas de origens diferentes: mexicana – *Persea americana* var. *drymifolia*; antilhana – *P. americana* var. *americana* e guatemalense – *P. nubigena* var. *guatemalensis*. As variedades comerciais existentes são, em geral, híbridas desses três tipos (KOLLER, 1984).

É uma planta perene, cultivada na maioria das regiões tropicais e subtropicais, inclusive em áreas de topografia acidentada. Trata-se de uma árvore de porte médio a elevado (12 a 20 metros). Os frutos se diferenciam pelo tamanho, cor, forma, casca, polpa e semente, dependendo das variedades (TEIXEIRA et al., 1992).

Os fatores climáticos que afetam o abacateiro são a temperatura, a luminosidade, a precipitação pluviométrica, os ventos e a umidade do ar (KOLLER, 1984), destacando-se dentre estes, a temperatura e a precipitação, sendo a temperatura o fator mais importante para a frutificação, pois as baixas temperaturas podem prejudicar a fecundação das flores e as altas, podem induzir a queda de frutinhos recém formados e até mesmo a queda de frutas já medianamente desenvolvidas, além de provocar uma antecipação no período de colheita (TEIXEIRA et al., 1992).

O abacate é um fruto climatérico que apresenta alta taxa respiratória e produção elevada de etileno após a colheita, o que lhe confere alta perecibilidade sob condições ambientais (KOLLER, 1984).

2.1.2 Produtividade

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de abacate, cuja produção em 2008 foi de 166 mil toneladas, em área de 10,5 mil ha (IBGE, 2010). De acordo com a FAO (2010) a produção mundial é cerca de 3,5 milhões de toneladas, ocupando uma área 423 mil ha, onde o México, Indonésia, Estados Unidos, Colômbia, Chile e Brasil são os maiores produtores. O mercado externo do abacate tem crescido bastante, principalmente pela divulgação das suas qualidades nutricionais (TEIXEIRA et al., 1992).

No Brasil são cultivadas diversas variedades de abacates, cujos frutos têm composição química muito variável, e o óleo de seus frutos apresenta interessantes características químicas sob o ponto de vista nutricional. É cultivado em quase todos os Estados do Brasil, sendo uma das frutíferas mais produtivas por unidade de área cultivada (TEIXEIRA et al., 1992).

A produção no país está voltada principalmente para o mercado interno. Por isso, o número de variedades tende a aumentar muito devido à seleção local. As variedades locais são importantes por sua adaptação às condições climáticas, hábitos de consumo, resistência a doenças, qualidade, aparência e conservação pós-colheita. As variedades Fuerte e Hass são as preferidas para exportação, enquanto que para o mercado interno encontramos diversas variedades como Quintal, Fortuna, Ouro-Verde, Pollock, entre outras (DONADIO, 1995). Entre as variedades produzidas no mercado interno, a Fortuna é considerada a de melhor aceitação (TEIXEIRA et al., 1992).

2.1.3 Variedade Fortuna

A variedade Fortuna, de origem antilhana, é uma planta vigorosa, imune a verrugose e antracnose, de produção precoce (a partir do 3º ano), com colheita ocorrendo no período de fevereiro/junho. Os frutos são sensíveis ao frio, são frutos grandes com peso médio de 600-1000 g (TEIXEIRA et al., 1992). O fruto tem formato piriforme, a coloração da casca é verde musgo com poucas rugas e a

polpa é amarela-esverdeada, apresentando boa qualidade nutricional, sabor levemente adocicado e baixo teor calórico quando comparada à outras variedades. A quantidade de óleo presente, tanto na polpa quanto na semente desta variedade, faz com que ela ainda seja interessante para os estudos de extração de óleo.

2.1.4 Aspectos nutricionais

O abacate apresenta uma composição química muito variável e que seus nutrientes são essenciais para o corpo humano. É rico em fibras, vitaminas e minerais, destacando-se as vitaminas C, E, B6 e os minerais K, P, Mg e Ca, além da presença de α e β -caroteno que são pró-vitaminas A (USDA, 2001). De acordo com Naveh et al. (2002), o total de fibras presentes no fruto fresco da variedade Ettinger, é de aproximadamente 5,2 g/100 g, sendo 75% insolúveis e 25% solúveis.

O abacate também é fonte dos fitonutrientes β -sitosterol que auxilia na redução do colesterol do sangue, e a glutathione que age como um excelente antioxidante, diminuindo os riscos de doenças cardiovasculares e também de alguns tipos de câncer (SALGADO et al., 2008). Embora não seja considerado uma fonte proteica, o fruto contém quantidades muito superiores desse nutriente (1 a 3%) quando comparado a outras frutas, como a banana (1,2%) e a laranja (0,9%) (USDA, 2001).

O abacate apresenta ainda, quantidade satisfatória em ácidos graxos ômega nove, onde o principal ácido graxo predominante é o ácido oleico, acompanhado pelos ácidos palmítico e linoleico (TANGO et al., 1972; AHMED; BARMORE, 1990).

Dietas ricas em gorduras monoinsaturadas (ácido oleico), em substituição a gorduras saturadas, exercem seletivos efeitos fisiológicos sobre o corpo humano, reduzindo os níveis de colesterol total, de triglicerídeos e de LDL-colesterol, sem alterar a fração HDL-colesterol do plasma (REBOLLO et al., 1998; TURATTI et al., 2002).

Entre os alimentos fontes de ácidos graxos, o óleo de abacate se destaca pela excelente qualidade nutricional. Unlu et al. (2005) verificaram que a adição de abacate e óleo de abacate na salada, como únicas fontes lipídicas, aumentaram significativamente a absorção de luteína e α e β -carotenos. Além disso, assemelha-se muito ao óleo de oliva, por ser extraído da polpa dos frutos e pela similaridade de suas propriedades físico-químicas, principalmente pela composição de seus ácidos graxos, utilizados como coadjuvantes no tratamento de doenças (TANGO; CARVALHO; LIMONTA, 2004).

De acordo com Tango et al., (2004), a composição de ácidos graxos do óleo de abacate varia de acordo com as variedades, estágio de maturação, região anatômica do fruto e localização geográfica de crescimento da planta.

Frutos colhidos 30 dias antes do estágio de maturação, possuem maiores proporções de casca e caroço e menor porcentagem de polpa. Apresentam também menores porcentagens de matéria graxa e teores mais elevados de umidade na polpa. Vale ressaltar que essa umidade diminui com a maturação e, normalmente, é influenciada pelas condições climáticas, sendo menores na época de inverno, cujo período tem menor intensidade de chuvas (BLEINROTH; CASTRO, 1992).

Associado aos seus benefícios, o abacate corresponde às expectativas de um produto funcional, por isso vem se tornando um grande aliado na área da saúde e também para ser utilizado como matéria-prima na indústria alimentícia.

2.1.5 Utilização e consumo

Considerado uma das frutas tropicais mais valiosas, o abacate é consumido como alimento sob diversas formas tais como, purê, vitaminas, sorvete, saladas, temperado com sal, pimenta, vinagre e outros condimentos, como também em outros pratos, nas diversas refeições do dia.

Além do seu valor na alimentação, o abacate tem sido aproveitado para várias outras aplicações: da polpa obtêm-se óleos comerciais e atualmente estudos

têm apontado para sua utilização como biocombustível; da semente produz-se uma tinta castanho-arroxeadada e pesquisas recentes verificaram que do caroço também pode ser produzido etanol; farelos de caroço e de polpa têm sido utilizados como coadjuvantes na alimentação de ratos, demonstrando sua eficácia quanto à redução do colesterol sanguíneo. Outras partes da planta, tais como folhas, casca dos frutos e casca do tronco, têm sido utilizadas pela medicina popular (TEIXEIRA et al., 1992; MENEZES; LOPES; PASSARETTI FILHO, 2010).

A polpa da fruta é a parte de maior interesse, pois nela concentra-se a maior quantidade dos nutrientes, uma vez que, no caroço e na casca, os teores dessas substâncias são reduzidos.

A qualidade do óleo de abacate para fins alimentícios depende do grau de refinação deste produto, uma vez que estudos mostraram que através deste processo eliminam-se todas as substâncias voláteis, que normalmente estão presentes nos óleos brutos e são as causadoras de sabores e odores desagradáveis (TEIXEIRA et al., 1992). Soares et al., (1991), fizeram a caracterização física e química, antes e após cada etapa do processo de refinação, e verificaram que houve uma redução de aproximadamente 24% no teor de insaponificáveis e de 98% nos teores de clorofila e feofitina. Além disso, o processo de refinação mostrou que não ocorre alteração na composição de ácidos graxos, o que favorece a utilização da polpa de abacate para extração de óleo. Assim, faz-se necessária a adequação de métodos alternativos e eficazes para a extração do óleo e também para a conservação de frutos de abacate.

2.2 BRANQUEAMENTO

As reações enzimáticas que ocorrem nos alimentos durante seu processamento são ocasionadas principalmente pela presença de enzimas oxidativas, entre estas, as mais encontradas em frutas são a peroxidase (POD), pectinesterase e polifenoloxidase (PPO) que são termorresistentes e responsáveis

pelas alterações indesejáveis de cor e sabor nos produtos além da redução do seu valor nutricional (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A enzima PPO e as reações degradativas da POD são as principais causadoras do escurecimento enzimático de frutas. De modo geral esse escurecimento é observado quando as frutas são amassadas, cortadas ou trituradas (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). No caso específico do abacate, esse fenômeno é observado logo que a fruta é cortada e descascada. Como essas enzimas são termorresistentes o tratamento térmico é um dos mecanismos utilizados para sua inativação.

O branqueamento térmico é utilizado principalmente na conservação do produto em seu período de elaboração e armazenamento, podendo ser realizado em vegetais inteiros ou em pedaços. Estes são imersos em uma solução aquosa aquecida, que pode ou não conter solutos, durante um intervalo de tempo que varia de acordo com o tamanho das amostras, tipo de matéria-prima e com a temperatura do processo (SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000). Fazendo-se a escolha das combinações certas de tempo e temperatura, pode-se controlar e aperfeiçoar a qualidade do produto final.

O efeito do branqueamento sobre a taxa de secagem por convecção em frutos de abacate ainda são pouco conhecidos. Por isso as combinações desses processos podem auxiliar no estabelecimento de melhores condições operacionais na preservação dos frutos.

A aplicação de pré-tratamentos como o branqueamento na matéria-prima antes da secagem possibilita modificar a estrutura natural do tecido e melhorar a transferência de umidade do produto. Portanto, ocorre um aumento da velocidade de secagem como comprovam os trabalhos de Kompany et al. (1990).

As temperaturas utilizadas na secagem de frutas e hortaliças geralmente não são altas o suficiente para inativação das enzimas oxidativas. Assim, com o intuito de inativar enzimas que podem promover o escurecimento, oxidar vitaminas e outros compostos antioxidantes o branqueamento térmico antes da secagem apresenta-se como uma alternativa viável e econômica para evitar as mudanças indesejáveis nos alimentos.

2.3 OFF-FLAVORS EM ABACATE

Óleos e gorduras são os representantes lipídicos majoritários em alimentos e os únicos componentes insolúveis em água, podendo ser encontrados em sistemas multifásicos, distribuídos em fases óleo e água, entre as quais ocorrem fenômenos de interface e partição que afetam as propriedades físicas dos alimentos. Ao contrário de proteínas e carboidratos, óleos e gorduras possuem apenas alguns pontos reativos na molécula. Com isso, as reações que ocorrem durante o processamento e o armazenamento do alimento são menos variadas que no caso dos componentes hidrossolúveis (OETTERER; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2006).

As alterações que ocorrem nos compostos lipídicos normalmente resultam no desenvolvimento de odores e sabores indesejáveis que levam à rejeição do alimento, reduzindo seu tempo de comercialização. Depois da deterioração microbiana, a oxidação que leva à instalação do ranço é a segunda causa mais importante da deterioração de alimentos (LINDLEY, 1998).

A formação de compostos de odor e sabor desagradáveis decorrentes da oxidação dos lipídeos nos alimentos pode ocorrer por auto-oxidação, fotoxidação, termoxidação e oxidação enzimática, sendo favorecida por vários fatores, entre eles o principal, é a presença de oxigênio. Além disso, os ácidos graxos insaturados, a temperatura, a exposição à luz e os fatores que aceleram a velocidade de reações químicas e enzimáticas, são fatores que devem ser controlados durante o processamento, de forma a garantir relativa estabilidade oxidativa (OETTERER; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2006).

Sob condições favoráveis, os triglicerídeos componentes das gorduras sofrem hidrólise, com formação de glicerol e ácidos graxos. A reação é reversível; na prática, a hidrólise é favorecida por uso excessivo de água, altas temperaturas, pressão e ação de enzimas lipolíticas ou catalisadores (GUNSTONE; NORRIS, 1983; SWERN, 1964). Durante o processo de hidrólise ocorre quebra dos triacilgliceróis e aumento dos ácidos graxos livres (OETTERER; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2006).

Nos ácidos graxos mono e poliinsaturados não conjugados, a reação é iniciada pela remoção de um átomo de hidrogênio do grupo metileno (-CH₂-) adjacente à dupla ligação. O radical livre resultante da reação absorve oxigênio para formar um radical livre peróxido. O radical peróxido reage com outra molécula de composto insaturado, resultando, da reação, um hidroperóxido e um radical livre que é capaz de continuar a reação em cadeia. Isso evidencia que, uma vez presentes nos alimentos, os ácidos graxos poliinsaturados se tornam a principal causa da ocorrência da oxidação nas matérias graxas (OETTERER; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2006). Estas reações em cadeia podem levar à formação de estruturas diferentes, representadas por uma mistura de isômeros posicionais. A configuração dos isômeros produzidos é afetada pela temperatura, no caso do ácido oleico, presente em alta concentração no abacate, em temperatura ambiente, 33% dos isômeros tem configuração *cis* e 67%, *trans* (BELITZ; GROSH, 1999).

Diferentes hidroperóxidos são produzidos quando a luz e certas moléculas fotossensibilizadoras estão presentes nos alimentos. A reação fotoquímica ocorre desde que haja um sensibilizador para converter o oxigênio do seu estado basal para forma singlete. A oxidação fotossensibilizada de lipídeos insaturados ocorre quando estão presentes tais substâncias sensitizantes, como a clorofia ou feofitinas, nos óleos (LOVE, 1985; OETTERER; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2006).

A decomposição dos hidroperóxidos de ácidos graxos constitui um processo muito complicado e produz uma variedade de substâncias que podem ter efeitos biológicos e causar deterioração do sabor de alimentos que contêm lipídeos. A variedade de compostos voláteis produzidos parece ser dependente do tipo de mecanismo de auto-oxidação do hidroperóxido e da natureza do ácido graxo envolvido. Nos óleos vegetais o sistema é muito mais complexo, pois as reações podem ser estimuladas ou inibidas entre os ácidos graxos e outros componentes menores presentes, como proteínas, membranas e enzimas (OETTERER; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2006).

A estrutura dos ácidos graxos afeta a velocidade de oxidação; assim, gorduras contendo mais ácidos graxos poliinsaturados são mais suscetíveis. A variação de temperatura também afeta a cadeia de formação de hidroperóxidos e sua decomposição. A cada 15°C de aumento na temperatura, a velocidade de reação dobra. Contudo, chega-se a uma dada temperatura em que se atinge a concentração máxima de hidroperóxido, isto é, a velocidade máxima, como acontece durante as frituras. A química da oxidação de lipídeos em alta temperatura é bastante complexa, pois envolve simultaneamente reações oxidativas e termolíticas (OETTERER; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2006). Tanto ácidos graxos saturados quanto insaturados sofrem decomposição química quando expostos ao calor na presença de oxigênio (NAWAR, 1985).

O tratamento térmico da polpa de abacate pode resultar no desenvolvimento de sabor amargo, esse “off-flavor” é provocado pela combinação de certas substâncias químicas, algumas presentes na polpa do abacate e outras que se formam durante o aquecimento (BEN-ET; DOLEV; TATARSK, 1973). Os autores estudaram abacate da variedade Ettinger e conseguiram identificar através de cromatografia, duas substâncias que foram isoladas de frações lipídicas da polpa do abacate (1-acetoxi-2,4-di-hidroxi-n-heptadeca-16-en e 1,2,4-trihidroxi-n--heptadeca-16-en), posteriormente realizaram análises sensoriais dessas amostras e verificaram que estas substâncias foram aumentadas com tratamento térmico. Foi atribuído a esses compostos, a indução pelo aparecimento do sabor amargo em abacate.

Bates (1970) estudando abacate da variedade Fuerte, identificou feofitinas formadas no purê de abacate aquecido. O autor separou algumas frações dessa substância e concluiu que ela estava relacionada com o sabor desagradável que se produz ao aquecer o material. A feofitina é um produto da degradação da clorofila, sendo responsável pelo aparecimento de uma coloração marrom-azeitona, característica da feofitina. Na reação de feofitinização, o magnésio do centro da molécula de clorofila é substituído por hidrogênio (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Por outro lado, em óleo clarificado e desodorizado,

constatou-se ausência de amargor, o que foi associado à eliminação de feofitinas (SOARES et al., 1991)

2.4 ATIVIDADE DE ÁGUA (a_w)

A atividade de água é uma das propriedades mais importantes para o processamento, conservação e armazenamento de alimentos, pois é uma das principais variáveis responsáveis pelas perdas dos produtos. Ela quantifica o grau de ligação da água contida no produto e, conseqüentemente, a sua disponibilidade para agir como solvente e participar das transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas (LABUZA, 1977). A atividade de água é dada pela relação entre a pressão de vapor de água do alimento e a pressão de vapor de água pura à mesma temperatura. A determinação da a_w em alimentos é fundamental para a escolha e estabelecimento de um correto processamento dos produtos.

2.5 ISOTERMAS DE SORÇÃO

A água é, provavelmente, o fator individual que mais influencia na alteração dos alimentos, afetando sua natureza física e também suas propriedades químicas e bioquímicas. Durante o armazenamento prolongado, os alimentos desidratados tendem a adquirir umidade e, de acordo com Arslan e Togrul (2005), esta resposta pode ser usada como um critério crítico para o julgamento da qualidade de alimentos industrializados, já que a grande maioria destes podem se degradar na presença de umidade.

Uma das maneiras de se conhecer o conteúdo de umidade dos produtos alimentícios é através das isotermas de sorção. Para determinação experimental da umidade de equilíbrio é necessário que haja um ambiente com umidade relativa (UR) controlada. O método de controle da UR que mais se utiliza é o de soluções salinas saturadas.

As isotermas de sorção de umidade dos produtos são de grande importância para a ciência e tecnologia de alimentos, pois contribuem para o desenvolvimento e otimização de processos. São aplicadas na predição do tempo de secagem, na vida de prateleira, na determinação do tipo de embalagem e na caracterização do produto (PENA; RIBEIRO; GRANDI, 2000).

Os dados das isotermas são capazes de descrever as mudanças no estado físico que podem ocorrer nos produtos durante sua estocagem. Essas alterações estão frequentemente associadas à atividade de água e à umidade dos produtos. Portanto, as isotermas de sorção constituem-se ferramentas importantes na escolha das condições de processamento e armazenamento dos produtos, garantindo, nas condições de estocagem (temperatura e umidade relativa do ar), a integridade biológica do material.

2.5.1 Tipos de Isotermas

As isotermas de sorção são a representação gráfica da umidade relativa de equilíbrio ou da pressão parcial de vapor de um produto pelo seu conteúdo de umidade a uma dada temperatura. Elas podem ser de adsorção ou dessorção, segundo a determinação da umidade do produto ao longo de um processo de umedecimento ou secagem, respectivamente.

As isotermas de adsorção são aquelas observadas em alimentos secos nos quais, quando mantidos em atmosfera com variação de umidade relativa crescente, ocorre ganho de peso. Já as isotermas de dessorção são aquelas em que o alimento está inicialmente úmido e, quando colocado em ambiente com umidade relativa inferior, apresenta redução de peso.

No entanto, uma isoterma de sorção de umidade preparada pela adição de água (adsorção) em amostras secas, nem sempre se sobreporá a isoterma preparada por dessorção. A falta de sobreposição das curvas de sorção é chamada de histerese (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

O estudo das curvas de sorção é uma das medidas mais importantes na análise dos materiais biológicos, ou seja, quando um alimento é exposto a certa umidade, ele perde ou ganha água para ajustar sua própria umidade a uma condição de equilíbrio com o ambiente. Isto ocorre quando a pressão de vapor da água na superfície do material se iguala à pressão de vapor de água do ar que o envolve (TREYBALL, 1968).

Segundo a classificação de Brunauer; Emmett; Teller (1938) as isotermas de sorção apresentam diferentes formas representadas por cinco tipos, como vistos na Figura 1. As isotermas de sorção do tipo I são chamadas de Langmuir, do tipo II de sigmoidal ou de estrutura em S e do tipo III, em forma de J. Nenhum nome específico foi dado para as isotermas de tipos IV e V.

A Figura 1 mostra as curvas de sorção obtidas experimentalmente de produtos que produzem isotermas de diferentes formas.

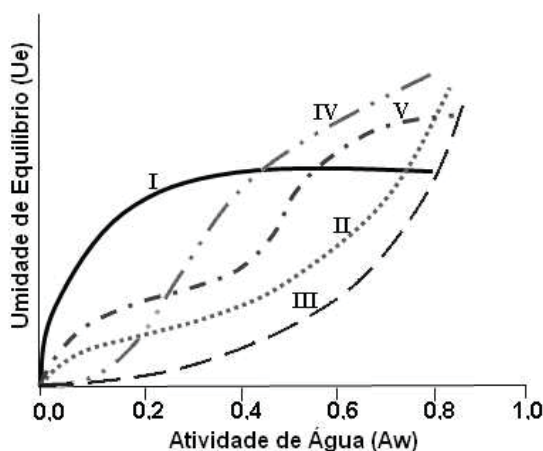


FIGURA 1. Os cinco Tipos de isotermas de sorção segundo Brunauer.

2.5.2 Determinação das Isotermas e Modelagem Matemática

Para determinação das isotermas é necessário que as amostras tenham atingido a umidade de equilíbrio. A umidade de equilíbrio é alcançada quando o produto é mantido por um tempo suficientemente longo, sob condições

controladas de temperatura e umidade relativa do ar, ou seja, a pressão de vapor da água do produto se iguala à pressão parcial de vapor da água do ar ambiente, podendo ser expressa em base úmida ou em base seca.

Com o intuito de prever o comportamento das isotermas, diversos autores propuseram modelos de ajuste de isotermas de sorção (CHIRIFE; IGLESIAS, 1978). Estes modelos são úteis no conhecimento das características dos produtos e podem ser divididos em várias categorias: modelos cinéticos baseados na monocamada (BET), modelos cinéticos baseados na multicamada e filme condensado (GAB), modelos semi-empíricos (Ferro-Fontan, Henderson e Halsey) e modelos empíricos tais como Smith e Oswin (AL-MUHTASEB et al., 2004). Os modelos mais utilizados em alimentos são o de GAB e de BET (CHIRIFE; IGLESIAS, 1978), porém o modelo de BET apresenta ajuste satisfatório somente para a_w inferior a 0,5.

2.6 SECAGEM CONVECTIVA

A secagem é uma das técnicas mais tradicionais de conservação dos alimentos, por proporcionar a redução da disponibilidade de água para o desenvolvimento de microrganismos e para reações químicas e bioquímicas deteriorativas.

As vantagens do processo de secagem são várias, dentre as quais podemos citar: a facilidade na conservação do produto, pois há um aumento da vida útil passando de dias para vários meses ou até anos; estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; redução do seu peso e conseqüentemente, redução de custos com embalagens, transporte e armazenamento; economia de energia por não necessitar de refrigeração, além de contribuir para a disponibilidade do produto em qualquer época do ano (PARK; YADO; BROD, 2001).

Dos tipos de secadores existentes, podemos citar aqueles em que a secagem é realizada por convecção natural (feita geralmente em estufas), ou o de

circulação forçada (em diferentes tipos de secadores), aplicados a uma grande variedade de frutas e vegetais (KARATHANOS, 1999; NICOLETI; TELIS-ROMERO; TELIS, 2001; PARK; YADO; BROD, 2001; ARÉVALO-PINEDO; MURR, 2005; LEITE; MANCINI; BORGES, 2007).

A secagem com ar aquecido é considerada um método clássico de preservação de alimentos e consiste basicamente no aumento da temperatura do produto para a evaporação da água por transferência de massa e calor simultâneos. Essa transferência de calor e de massa, segundo Park et al., (2007) pode ser dividida em três períodos, os quais são descritos como: (1) período inicial de secagem; (2) período de taxa constante de secagem e (3) período de taxa decrescente de secagem.

Dentre os métodos de secagem, a convectiva é a mais utilizada na indústria alimentícia (KIRANOUDIS et al., 1997), sendo responsável por mais de 90% da produção de alimentos desidratados, contribuindo para a conservação de frutas por meio da redução do seu teor de umidade até níveis entre 10 e 25% em base úmida, porém, trata-se de uma operação que normalmente reduz a qualidade do produto pela modificação de suas características originais, como a aparência (FORNI et al., 1997; KROKIDA; TSAMI; MAROULIS, 1998), a consistência (LEWICKI; LUKASZUK, 2000; MALTINI et al., 1993) e o sabor (GIANGIACOMO et al., 1994).

O processo da secagem baseia-se no conhecimento do conteúdo inicial e final (equilíbrio) de umidade do material, da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até a sua superfície (PARK; YADO; BROD, 2001). Quando se atinge a umidade de equilíbrio, a desidratação é encerrada e a velocidade de secagem cai a zero. A umidade de equilíbrio é alcançada quando a pressão parcial do vapor na superfície do sólido se iguala à pressão do vapor na fase gasosa.

A intensidade da remoção de água do produto é significativamente influenciada pelos parâmetros do processo de secagem, tal como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do ar e também pela geometria do material (STRUMILLO; KUDRA, 1986), esses parâmetros exercem efeitos sobre a taxa de

secagem, no teor de umidade final e no encolhimento do produto, características estas relacionadas com a preservação e qualidade do alimento, (KARATANOS, 1999; QUEIROZ; NEBRA, 2001; NICOLETI; TELIS-ROMERO; TELIS, 2001, LEWICKI; PAWLAK, 2003).

Durante o processo de secagem, pode-se observar a diminuição das dimensões do produto, devido à alteração na microestrutura do tecido fresco, em que se verifica um aumento de cavidades, células alongadas, dentre outras modificações descritas por Lewicki e Pawlak (2003), promovidas pelo stress térmico e principalmente pela remoção de umidade. A secagem é encerrada quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio.

2.7 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A demanda por alimentos processados que mantenham suas características sensoriais mais próximas dos produtos originais, tem aumentado sensivelmente nos últimos anos. É desejável que os alimentos mantenham a cor, o aroma e o sabor equivalente ao da fruta *in natura* depois de processado, proporcionando assim uma textura agradável ao produto final.

As frutas desidratadas são utilizadas como ingredientes de diversos tipos de alimentos, como em produtos de confeitaria, sorvetes, sobremesas congeladas, saladas de frutas, iogurtes, dentre outros.

A desidratação osmótica baseia-se na remoção parcial de água dos alimentos, em que estes são imersos numa solução aquosa hipertônica (MAYOR; CUNHA; SERENO, 2007; JALILA; NARAIN; SILVA, 2008). Neste caso, a força de impulso para remoção de água ocorre pela diferença de pressão osmótica entre o alimento e a solução circundante.

Durante este processo, ocorrem três tipos de transferência de massa com fluxo contra-corrente: fluxo de água do sólido para solução, transferência de soluto da solução para o sólido e fluxo de solutos do sólido para a solução

(RAOULT-WACK, 1994). Logo, é importante considerar tanto a perda de peso como o ganho de sólidos (AZUARA et al., 1992).

Essa transferência ocorrerá até que o equilíbrio seja atingido, ou seja, quando o potencial químico entre a solução osmótica e a célula for nulo (KOWALSKA; LENART, 2001).

A taxa de fluxo de massa depende de vários fatores como a variedade dos frutos, composição e concentração dos solutos osmóticos, temperatura do processo, tempo de imersão, nível de agitação, tamanho e geometria do alimento, razão entre volume da solução e de sólido, pressão de operação (AZUARA et al., 1992; CHENLO et al., 2002; EL-AOUAR et al., 2006), tipo de equipamento, dentre outros (KOWALSKA; LENART, 2001).

A desidratação osmótica (DO) apresenta-se como alternativa para reduzir a umidade inicial dos produtos. Além da remoção de água ela possibilita também a modificação na composição química do produto pela incorporação de solutos do meio osmótico na estrutura porosa das frutas e hortaliças (LEWICKI; PORZECKA-PAWLAK, 2005), proporcionando o desenvolvimento de produtos mais adequados para posteriores processamentos além de possibilitar a melhoria das características nutricionais e sensoriais.

2.7.1 Agentes Desidratantes

O tipo de agente osmótico utilizado e, conseqüentemente, seu peso molecular ou comportamento iônico afetam fortemente a desidratação, tanto na perda de água quanto no ganho de sólidos (RAOULT-WACK, 1994). Algumas exigências para que um soluto seja utilizado como agente osmótico são apresentar alta solubilidade em água, baixo custo, efeito positivo sobre as propriedades sensoriais e estabilidade final do produto.

O uso de açúcar ou sal para conservar alimentos é um método simples e bastante conhecido. Como exemplos da utilização de açúcar na conservação das frutas temos geleias, doces em barra ou em calda e também tipo passas, dentre

outros, que mantêm os produtos em boas condições de consumo. Geralmente, soluções de sacarose são usadas para frutas e cloreto de sódio para hortaliças e alimentos de origem animal.

A sacarose é tida como um ótimo agente osmótico, pois apresenta menor custo em relação a outros açúcares de baixo peso molecular (frutose, glicose). O sabor de uma fruta desidratada por imersão-impregnação, em soluções de açúcares, é mais suave e mais doce que o da fruta *in natura*, em virtude da absorção de açúcar e da difusão de parte das substâncias de baixo peso molecular da fruta para a solução osmótica, juntamente com água (LENART, 1996).

El-Aouar et al. (2006) ao desidratar osmoticamente mamão em fatias utilizando sacarose e glicose, verificaram que a perda de peso e umidade e o ganho de sólidos foram maiores na solução osmótica de sacarose.

Ispir & Togrul (2009), ao pesquisarem damasco, com diferentes agentes osmóticos de mesma concentração (70°Brix), constataram que a maior e menor perda de umidade foi obtida pela solução de sacarose e sorbitol, respectivamente.

2.7.2 Agentes Acidificantes/Antioxidantes

O controle do escurecimento nos alimentos costuma ser alcançado pelo emprego de técnicas de processamento como o branqueamento térmico, uso de embalagens que excluem o oxigênio e também pela adição de agentes químicos apropriados.

O escurecimento enzimático representa um importante problema na conservação dos alimentos, principalmente em frutas *in natura*, pois ele é responsável pelo desenvolvimento de uma coloração indesejável aos produtos, reduzindo seu valor comercial. Com a finalidade de inibir ou retardar o escurecimento nesses produtos, são empregados compostos químicos conhecidos como acidificantes ou antioxidantes (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

O uso de acidulantes na indústria de alimentos e seus mecanismos funcionais têm sido amplamente estudados, principalmente em substituição aos conservantes sintéticos, por serem originados de produtos naturais. Dos compostos utilizados para inibir o escurecimento enzimático, somente alguns podem ser usados em produtos para consumo humano. Nesta seleção é desejável que os mesmos apresentem as seguintes propriedades: eficácia em baixas concentrações (0,001 a 0,01%); ausência de efeitos indesejáveis na cor, odor, sabor e em outras características do alimento; compatibilidade com o alimento e fácil aplicação; estabilidade nas condições de processo e armazenamento e que o composto e seus produtos de degradação não sejam tóxicos, mesmo em doses muito maiores das que normalmente seriam ingeridas no alimento (BAILEY, 1996). Além disso, devem ser considerados outros fatores, como a legislação vigente sobre o produto, o custo e a preferência do consumidor por produtos naturais.

Dentre as estratégias de prevenção do escurecimento enzimático de frutas, tem-se a diminuição do pH, pela acidificação do meio. Na indústria alimentícia o ácido cítrico e seus sais (fosfatos e sais de ácido etileno diamino tetra acético - EDTA) são os mais usados como agentes quelantes, ou seja, complexam os íons metálicos que catalisam as reações enzimáticas, além de prevenir outras reações oxidativas, como a oxidação lipídica (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

2.7.3 Processos da Desidratação Osmótica

A taxa de remoção de água durante a desidratação osmótica depende de diversos fatores, tais como: concentração e temperatura da solução, tempo de processo, grau de agitação da solução, forma e tamanho do sólido, razão solução/sólido e nível de vácuo, se aplicado.

A temperatura de processamento da desidratação osmótica está diretamente relacionada com as características finais do produto. Segundo

Torreggiani (1993) a velocidade de transferência de massa aumenta com o aumento da temperatura, porém, acima de 60°C ocorrem modificações nas características dos tecidos, favorecendo o fenômeno de impregnação de solutos e perda de umidade.

A concentração do soluto na solução influencia fortemente a difusão dos componentes, por isso as concentrações das soluções osmóticas utilizando açúcar devem estar na faixa de 40 a 70% (ANTONIO et al., 2008). Souza et al. (2003) observaram que o aumento da concentração da solução osmótica diminuiu o tempo de secagem de bananas desidratadas, melhorando a cor e textura do produto.

A desidratação é normalmente conduzida com agitação da solução osmótica para reduzir a resistência externa e aumentar a taxa global de transferência de massa (MOREIRA; SERENO, 2003). Portanto, o nível de agitação pode influenciar na cinética de transferência de massa, reduzindo o tempo de contato da solução osmótica com o fruto.

A taxa de desidratação osmótica é elevada no início do processamento devido à maior diferença de pressão osmótica entre a solução e a matéria prima, verificando-se uma menor resistência à transferência de massa neste estágio do processo (KOWALSKA; LENART, 2001). A perda de umidade ocorre, principalmente, durante as duas primeiras horas e o maior ganho de sólidos, durante os trinta minutos iniciais. De acordo com Lewicki e Porzecka-Pawlak (2005) ao desidratarem cubos de maçã, com xarope de sacarose, na concentração de 61,5°Brix à temperatura de 30°C por 30, 60, 120 e 180 minutos, verificaram que após 30 minutos de osmose houve aumento de aproximadamente 70% de matéria seca e redução de 48% de água.

O tempo de exposição do produto às soluções desidratantes podem proporcionar uma degradação do tecido celular vegetal. Essa degradação pode ser ainda mais evidente quando há elevação da temperatura de processo (RODRIGUES; MAURO, 2004). Quanto maior o tempo de osmose, maior a perda de umidade, entretanto, existe um limite para o conteúdo final de água no

alimento, que é seu valor de equilíbrio com a solução osmótica (SOUZA et al., 2003).

Falade; Igbeka; Ayanwuyi (2007) observaram que a perda de água e o ganho de sólidos aumentaram com a diminuição da espessura das amostras de melancia desidratadas em solução de sacarose à 40°C e 50°Brix, o que se deve ao aumento da área de transferência de massa exposta à solução osmótica. Os autores constataram maiores valores de perda de umidade e ganho de sólidos nos cubos com 10 mm de espessura quando comparados com aqueles com 20 e 30 mm.

O efeito da proporção entre amostra e solução foi pesquisado por Ispir e Togrul (2009) na desidratação osmótica de damasco, utilizando glicose e maltodextrina a 70°Brix. A perda de água e o ganho de sólidos foram inversamente proporcionais a diminuição da proporção amostra/solução. Esta diminuição evita uma significativa diluição do meio osmótico durante o processo.

2.8 COR

A cor é o principal atributo de aceitação dos alimentos pelos consumidores e é também de grande importância tecnológica, pois é utilizada como índice das transformações naturais ocorridas nos alimentos frescos, ou seja, está relacionada aos fatores de qualidade, como a composição química e o grau de alteração ocorrida nos produtos durante o processo industrial.

Embora a cor nem sempre tenha relação com a qualidade nutricional dos alimentos, ela é o fator limitante para sua obtenção, pois o aspecto visual é correspondente ao frescor do produto.

No âmbito da física ótica, a cor é um feixe de radiações luminosas com uma determinada distribuição espectral. Os materiais transferem a luz que chega a eles de forma que a luz transmitida tenha diferente distribuição espectral. A capacidade de um material de alterar a distribuição espectral da luz depende da sua composição química e da sua estrutura, ou seja, a cor de um produto envolve componentes físicos e fisiológicos em relação à percepção do olho com o

comprimento de onda da luz, que varia de 400 a 500 nm correspondendo ao azul, 500 a 600 nm correspondendo ao verde e amarelo e de 600 a 800 nm ao vermelho (CALVO; DURÁN, 1997).

A deterioração da cor em frutas pode ser causada por vários mecanismos como reações de Maillard e a destruição de pigmentos, oxidação lipídica entre outros. Essa mudança de coloração também vai depender de fatores como a variedade da fruta, o conteúdo de umidade, estágio de maturação e condições operacionais de processo.

As alterações de cor nos produtos têm sido estudadas pela utilização de espectrofotômetros, obtendo-se uma avaliação objetiva da cor através dos Sistemas de cores (Munsell, Hunter, CIE, CIELAB), que se baseia numa mistura de cores a partir de três estímulos fundamentais (vermelho, verde e azul). Entre estes sistemas, o CIELAB, é atualmente o mais aplicado porque além de definir o espaço cromático em coordenadas retangulares (L^* , a^* , b^*), define também em coordenadas cilíndricas (ΔE^* , H^* , C^*). A luminosidade é representada por L^* , enquanto que a intensidade da cor é representada pelos parâmetros a^* e b^* , onde a^* varia do verde ($-a^*$) ao vermelho ($+a^*$) e o b^* do azul ($-b^*$) ao amarelo ($+b$). Em coordenadas cilíndricas, o croma (C^*) das amostras varia na direção radial e representa a intensidade ou saturação de cor, enquanto que o grau de tonalidade, ou tom da cor, varia na direção angular e é representado pelo ângulo *hue* H^* (CALVO; DURÁN, 1997).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Processos e Análises do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas – IBILCE/UNESP.

3.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Para realização dos ensaios experimentais, foram utilizados frutos de abacate da variedade Fortuna, em estágio de maturação firme com °Brix variando entre 7-10, provenientes da CEAGESP de São José do Rio Preto.

3.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Os frutos foram higienizados em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm por 20 minutos e lavados em água corrente para retirada do excesso da solução de hipoclorito. Posteriormente, foram acondicionados em bandejas, cobertos com filme plástico, tipo PVC, e mantidos sob refrigeração em câmara fria (4°C) para conservação dos mesmos. Nos dias de realização dos experimentos, os frutos eram retirados da câmara, lavados manualmente com sabão e enxaguados em água corrente para sanitização.

Os frutos de abacate (Figura 2) lavados e secos foram cortados transversalmente, descaroçados e descascados. Posteriormente, cortaram-se fatias em cortador elétrico (marca Eco), com espessura de aproximadamente 8,5 mm. As fatias foram colocadas em sacos plásticos e divididas em duas porções. Uma parte era de amostras frescas e a outra para posterior branqueamento térmico, como descrito no item 3.4.



FIGURA 2. Frutos de abacate em diferentes etapas de processo.

3.3 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

O abacate teve sua composição físico-química determinada em triplicata, onde foram analisados sólidos totais, açúcares totais e redutores, atividade de água, pH, sólidos solúveis, acidez, proteína, lipídios, cinzas e carboidratos totais. Os resultados foram expressos como a média dos valores incluindo o desvio padrão.

3.4 BRANQUEAMENTO

As fatias de abacate foram imersas em água fervente por 4 minutos (tempo requerido para inativação da enzima peroxidase, presente no abacate) e imediatamente resfriadas em água corrente e dispostas sobre papel absorvente para retirada do excesso da umidade.

3.5 TESTE DA PEROXIDASE

O tempo do branqueamento térmico para a inativação enzimática em frutos de abacate foi determinado pelo teste da peroxidase (PREGNOLATTO; PREGNOLATTO, 1985). Como essa enzima é termorresistente o tratamento térmico serve de controle para sua inativação.

O teste foi realizado em fatias de abacate branqueadas termicamente, adicionando-se 3 gotas da solução de guaiacol 0,5% (solução de 0,5 ml de guaiacol em 95 ml de álcool etílico puro) juntamente com 3 gotas de peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Para garantir a efetividade do tratamento térmico, as fatias branqueadas foram cortadas ao meio, e o teste foi realizado na área de corte, uma vez que a região central das amostras é o local que recebe menor aquecimento.

3.6 ISOTERMAS DE SORÇÃO

Os sais utilizados para o preparo das soluções salinas saturadas foram: LiCl, CH_3COOK , $MgCl_2$, K_2CO_3 , NaBr, $NaNO_2$, NaCl, e $BaCl_2$, cujas umidades relativas variaram de 10 a 90%. As soluções salinas utilizadas para o estabelecimento das isotermas foram preparadas de acordo com Greenspan (1977).

As soluções salinas foram preparadas dissolvendo-se os sais puros (P.A) em água destilada até sua precipitação ou saturação. Após o preparo, os sais foram colocados em potes de vidro hermeticamente fechados e mantidos nas temperaturas experimentais de 30, 50 e 70°C por alguns dias, para estabilização dos sais com o ambiente.

As fatias de abacate com espessuras de aproximadamente 8,5 mm foram cortadas em fatias menores de aproximadamente 1,0 mm de diâmetro, misturadas e colocadas em fundo de copos descartáveis de 110 mL previamente cortados e pesados. As fatias branqueadas termicamente tiveram suas extremidades descartadas e foram cortadas de igual maneira às frescas. Em seguida, pesou-se em triplicata ± 5 g da amostra, sendo posteriormente colocadas sobre um tripé de acrílico e acomodadas dentro dos potes de vidro. Antes de fechar os potes fez-se uma limpeza na tampa dos mesmos com formaldeído 40%, para evitar possíveis contaminações por micro-organismos. As amostras, em triplicatas, foram armazenadas nos potes de vidro hermeticamente fechados contendo as soluções

salinas de diferentes umidades relativas de equilíbrio (URE) Figura 3, empregando-se três temperaturas (30°C, 50°C e 70°C).

Os potes de 30°C e 50°C foram mantidos em incubadora tipo BOD e os potes de 70°C em estufa com circulação de ar forçada, ambas com variação de $\pm 1^\circ\text{C}$. Essas amostras foram pesadas semanalmente em balança analítica, com precisão de ± 0.0001 g, até que o sistema atingisse o equilíbrio. Foram determinadas isotermas de dessorção a partir do produto com sua condição inicial de umidade. Após atingir o equilíbrio higroscópico, determinou-se a umidade das amostras pelo método gravimétrico, com secagem em estufa a vácuo a 60°C e 10 kPa, até peso constante.

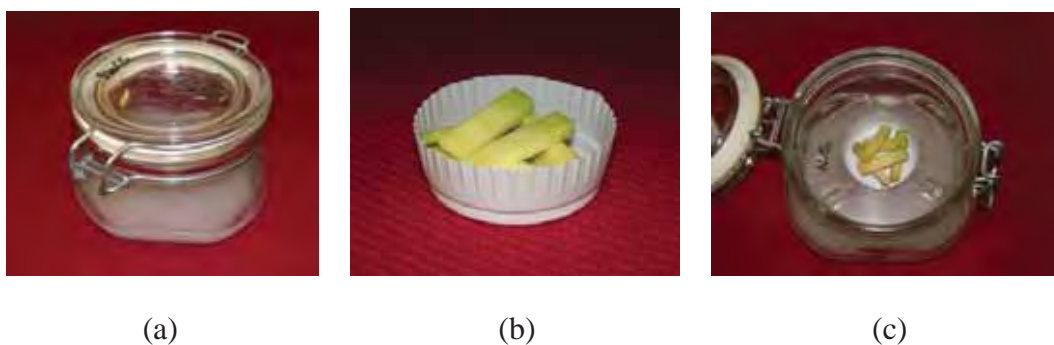


FIGURA 3. (a) Potes contendo as soluções salinas, (b) Fatias de abacate e (c) Amostras preparadas.

3.7 SECAGEM CONVECTIVA

A cada experimento, os abacates foram caracterizados através da determinação do peso dos frutos e da espessura das amostras, sólidos totais e atividade de água.

Utilizou-se neste experimento secador convectivo de bandejas nas temperaturas de 50°C, 60°C e 70°C e velocidade constante do ar de secagem (1 m/s). O secador dispõe de quatro pontos de aquisição de temperatura e um de aquisição de umidade (Figura 4). As temperaturas foram definidas após testes preliminares e a velocidade do ar foi controlada por um inversor de frequência

(WEG, μ line, modelo ML-7.0/200-240). Dois secadores operaram paralelamente, para que a mesma quantidade de amostra fosse obtida ao final da secagem. As fatias de abacate fresco e branqueado termicamente, com aproximadamente 8,5 mm de espessura foram dispostas aleatoriamente sobre bandejas de aço inox, pesadas (aproximadamente 140 g) e levadas ao secador convectivo. As bandejas foram retiradas e pesadas em intervalos de tempo pré-estabelecidos (0, 10, 20, 40 e 60 minutos e, posteriormente a cada 30 minutos) durante seis horas de processo para as temperaturas de 60 e 70°C e sete horas para a temperatura de 50°C.

Ao final da secagem, amostras representativas foram retiradas para determinações de sólidos totais e atividade de água. Parte das amostras foi embalada e armazenada por 24 horas, para equalização dos perfis de umidade e posterior análise de atividade de água. A cinética de secagem foi determinada para cada uma das condições estudadas, observando-se a redução do conteúdo de água em função do tempo. As umidades de equilíbrio de cada secagem foram estimadas a partir das isotermas de sorção.



FIGURA 4. Secador convectivo.

3.8 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA EM CUBA

A cada experimento, os abacates foram caracterizados físico-quimicamente através da determinação do peso dos frutos e da espessura das amostras, conteúdo de sólidos totais, pH, acidez titulável, sólidos solúveis e atividade de água.

A seleção do tratamento osmótico de abacate foi realizada com base em estudos preliminares, que mostraram boa eficiência de desidratação osmótica em solução aquosa com 50% de sacarose, sem alterar demasiadamente a estrutura celular do tecido.

As soluções para pré-desidratação por imersão-impregnação foram preparadas com água destilada, empregando-se dois tipos de agente osmótico: sacarose, na forma de açúcar refinado, na proporção amostra/solução de 1:25 (p/p), e ácido cítrico nas concentrações de 1 e 2% (p/p). Tanto a sacarose quanto o ácido cítrico foram adquiridos no mercado local.

As fatias de abacate foram pesadas em quatro cestos de nylon (aproximadamente 200 g de amostra em cada cesto) que posteriormente, foram dispostos dentro de uma cuba construída em aço inoxidável, de dimensões de 30 x 30 x 35 cm, com camisa externa (Figura 5). A solução aquosa de sacarose foi constantemente agitada por um agitador mecânico com 1,6 kW de potência (Marconi, modelo MA-261), com hélice naval (10 cm de diâmetro) e com rotação de 1000 rpm. A temperatura da solução foi mantida em 25°C por meio de água circulando na camisa externa, bombeada a partir de um banho ultratermostatizado (Marconi, modelo MA-184) que dispõe de refrigeração.

O tempo de processo foi de 4 horas. As amostras foram retiradas em tempos pré estabelecidos, ou seja, com 30 minutos na primeira hora de processo, depois a cada hora até a segunda hora e posteriormente com quatro horas de processo a partir do seu início. Ao final de cada tempo os cestos eram retirados da cuba, imersos rapidamente em água destilada para retirada do excesso de solução osmótica e as amostras eram então dispostas em papel absorvente para retirada do excesso de umidade. Em seguida, separaram-se amostras para análises de cor e

atividade de água, o restante das amostras foram homogeneizadas em mixer para posteriores análises de teor de sólidos solúveis (°Brix), pH, acidez, sólidos totais, açúcares redutores e totais. As análises foram realizadas com amostras de fruta *in natura* e tratada em cada tempo de processo.



FIGURA 5. Cuba de desidratação osmótica.

3.9 MÉTODOS ANALÍTICOS

3.9.1 Determinação da Espessura

Para determinação da espessura das amostras, aproximadamente 20 fatias dos frutos foram escolhidos ao acaso e realizadas medições diretas com o auxílio de um micrômetro digital marca (Mitutoyo), como mostra a Figura 6.



FIGURA 6. Micrômetro digital.

3.9.2 Teor de Sólidos Totais

A determinação dos sólidos totais foi realizada por secagem em estufa a vácuo a 60°C e 10 kPa (Figura 7), até peso constante.



FIGURA 7. Estufa a vácuo.

3.9.3 pH

Para a determinação do pH, pesou-se 10 g da amostra triturada em mixer em 100 mL de água destilada, realizando-se a leitura direta do pH por potenciometria, em pHmetro digital (marca Digimed) devidamente calibrado com as soluções padrões de pH 4,0 e 7,0, conforme metodologia ditada por Cecchi (1999).

3.9.4 Sólidos Solúveis

Para a realização das medidas de sólidos solúveis (°Brix), utilizou-se uma pequena porção da amostra homogeneizada no mixer, sendo transferidas para pedaços de algodão obtendo-se a partir daí, o extrato aquoso para posterior leitura em refratômetro digital (marca ATADO), Figura 8 (CECCHI, 1999).



FIGURA 8. Refratômetro digital.

3.9.5 Acidez Titulável

As determinações de acidez titulável foi realizada pela técnica de titulometria, utilizando-se 10 g de amostra triturada em 100 mL de água destilada e submetidas à titulação com solução de NaOH 0,1N padronizado e fenolftaleína como indicador. O resultado foi expresso em % de ácido cítrico (CECCHI, 1999).

3.9.6 Atividade de Água (a_w)

A determinação da atividade de água dos frutos foi realizada, em triplicata, no equipamento NOVASINA Aw Sprint – Axair Ltd./Switzerland (Figura 9), mostrando a leitura direta à temperatura de 25°C.



FIGURA 9. NOVASINA Aw Sprint.

3.9.7 Açúcares Redutores e Açúcar Total

A determinação dos açúcares redutores e totais foram feitas pelo método titulométrico, segundo a metodologia de Lane e Eynon, que consiste na redução do cobre presente na solução de Fehling (CECCHI, 1999).

3.9.8 Cinzas

A determinação de cinzas foi realizada pela técnica de incineração em forno tipo mufla a 550°C até a obtenção de cinzas claras, segundo metodologia de Cecchi (1999).

3.9.9 Carboidratos Totais

Os carboidratos totais foram obtidos por diferença, portanto, neles está incluída a fração fibra alimentar do composto. Equação 1.

$$\%C = 100 - (U + L + P + C) \quad \text{Eq. (1)}$$

onde: C = carboidratos; U = umidade; L = lipídios; P = proteína; C = cinzas.

3.9.10 Proteínas

A fração proteica foi determinada segundo o método de micro-Kjeldahl, onde o nitrogênio proteico da amostra foi multiplicado pelo fator de conversão 6,25, correspondente ao percentual de proteína das amostras (CECCHI, 1999).

3.9.11 Lipídios

O teor de lipídios totais foi determinado pelo método de Blinch-Dyer, em que a extração ocorre com o solvente a frio (CECCHI, 1999).

3.10 COR

Os parâmetros L^* , a^* e b^* foram determinados para as amostras frescas, desidratadas osmoticamente e secas, em espectrofotômetro (colorímetro) da marca Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 45/0-L (Figura 10). O Software Universal versão 4.10 foi utilizado para determinação dos valores absolutos de L^* , a^* e b^* , onde L^* define a luminosidade ($L^* = 0$ - preto e $L^* = 100$ - branco) e a^* e b^* são responsáveis pela cromaticidade ($+a^*$ vermelho e $-a^*$ verde; $+b^*$ amarelo e $-b^*$ azul). Para as análises foi utilizado o sistema de leitura CIELAB, com luminosidade D65 e um ângulo de observação de 10° , com calibração seguindo os padrões: $X=78,90$; $Y=83,90$; $Z=88,90$.



FIGURA 10. Hunter Lab Mini Scan XE Plus.

Com os parâmetros L^* , a^* e b^* calculou-se a diferença média da cor (ΔE) entre as frutas frescas e as processadas por meio da Equação 2 em que foram avaliadas as coordenadas cilíndricas C^* e H^* , onde C^* define a cromaticidade (intensidade da cor, sendo valores de croma próximos de zero correspondentes a

cores neutras e quanto mais próximos de 60 a cores vivas) e H^* o tom (sendo zero = vermelho, 90° = amarelo, 180° = verde e 270° = azul). Os valores de C^* e H^* foram obtidos a partir das equações 3 e 4.

As análises foram realizadas em replicatas, e o índice zero representou o valor do parâmetro para a fruta fresca (CALVO; DURÁN, 1997).

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

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$H^* = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \text{Eq. (4)}$$

3.11 MODELOS MATEMÁTICOS

3.11.1 Isotermas de Dessorção

O cálculo da umidade de equilíbrio foi realizado para cada amostra, e a seguir fez-se a média aritmética das três repetições para cada atividade de água nas diferentes temperaturas. Para o ajuste matemático das isotermas de dessorção do abacate fresco e branqueado, foram utilizadas as Equações de BET, GAB, Halsey, Henderson, Oswin e Peleg, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos para ajustes de isotermas de sorção.

Modelos	Equações
BET	$X = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)(1 + (C - 1)a_w)} \quad (5)$
GAB	$X = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w)(1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (6)$
Halsey	$X = \left[\frac{-a}{\ln(a_w)} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (7)$
Henderson	$X = \left[\frac{\ln(1 - a_w)}{a} \right]^{\frac{1}{b}} \quad (8)$
Peleg	$X = (k_1 \cdot (a_w^{n_1})) + (k_2 \cdot (a_w^{n_2})) \quad (9)$
Oswin	$X = a \left[\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^b \quad (10)$

onde C , K , k_1 , k_2 , n_1 , n_2 , a e b são constantes das equações; a_w é a atividade de água; X representa a umidade de equilíbrio em base seca (g água/g sólidos secos) e X_m é a umidade da monocamada.

3.11.2 Propriedades Termodinâmicas

As propriedades termodinâmicas normalmente estão associadas com o conteúdo de umidade dos alimentos e sua respectiva atividade de água, por isso são calculadas através das isotermas de sorção. O conhecimento das propriedades termodinâmicas é fundamental nos processos de transferência de calor e massa durante a secagem (AGUERRE; SUAREZ; VIOLLAZ, 1986).

A aplicação dos princípios termodinâmicos, como o calor isostérico de sorção, aos dados experimentais das isotermas, permite a obtenção de informações sobre as propriedades da água, microestrutura, fenômenos físicos na superfície dos alimentos e parâmetros cinéticos de sorção (KAYA; KAHYAOGU, 2005).

3.11.3 Calor isostérico líquido de sorção (q_{st})

O calor isostérico líquido de sorção também chamado de entalpia diferencial de sorção corresponde ao calor liberado ou absorvido pelo sistema. Ele é usado como um indicador que fornece dados sobre o estado de ligação das moléculas de água com o sólido.

A partir do modelo de melhor ajuste das isotermas de sorção, é possível realizar o cálculo da entalpia diferencial pela diferença entre o calor total de sorção (Q_{st}) e o calor de vaporização da água (λ) utilizando o modelo de Clausius-Clapeyron, onde se assume que o calor latente de vaporização da água pura, o calor líquido de sorção e a umidade de equilíbrio permanecem constantes com a variação da temperatura. A equação derivada do modelo de Clausius-Clapeyron pode ser descrita como:

$$\left. \frac{\partial \ln(a_w)}{\partial(1/T)} \right|_X = -\frac{Q_{st} - \lambda}{R} = -\frac{q_{st}}{R} \quad \text{Eq. (11)}$$

3.11.4 Entropia diferencial (ΔS)

A entropia diferencial está relacionada com o número de sítios de sorção para um determinado nível de energia ligado ao material biológico (MADAMBA; DRISCOLL; BUCKLE, 1996). A ΔS é útil para se obter informações quanto à racionalização da energia durante o processamento, a dissolução, hidratação e cristalização dos produtos alimentícios (AVIARA; AJIBOLA; DAIRO, 2002). A entropia diferencial pode ser encontrada pela interceptação com o eixo y, plotando-se $\ln(a_w)$ por $1/T$ para cada umidade de equilíbrio do material (McMINN et al., 2004).

3.11.5 Cinética da Secagem

A cinética de secagem foi analisada com base nas curvas de secagem, onde se observa a umidade da amostra em função do tempo. Para estimar a difusividade no período de taxa decrescente de secagem utilizou-se o modelo de difusão de Fick (CRANK, 1975), conforme a Equação 12.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \nabla^2 X \quad \text{Eq. (12)}$$

em que, X = Umidade em base seca (kg/kg matéria seca); D_{ef} = difusividade efetiva; t = tempo.

Considerando que a umidade se distribui uniformemente e que a resistência externa é desprezível, os ajustes das curvas experimentais foram realizados com base na Segunda Lei de Fick, onde a solução analítica para a geometria de placa (CRANK, 1975), é mostrada na Equação 13.

$$\mathbf{X} = \frac{\bar{X} - X^{eq}}{X^0 - X^{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2}{4} \pi^2 \frac{D_{ef} \cdot t}{L_0^2}\right] \quad \text{Eq. (13)}$$

em que: \mathbf{X} = umidade adimensional; \bar{X} = umidade média no tempo t , base seca (kg/kg matéria seca); X^{eq} = umidade de equilíbrio; X^0 = umidade inicial.

3.11.6 Cinética da Desidratação Osmótica

A determinação da cinética de desidratação osmótica é essencial para se estudar a influência dos agentes desidratantes sobre a perda de massa, perda de água e ganho de sólidos prevendo assim as melhores condições de processamento.

O balanço de massa total, dado pela variação de massa (ΔM) em relação à massa inicial, representada pela Equação 14.

$$\Delta M = \frac{M - M_0}{M_0} \quad \text{Eq. (14)}$$

onde, M é a massa final após um tempo t de desidratação osmótica, e M_0 é a massa no tempo inicial.

A perda de água (ΔP_a) e o ganho de sacarose (ΔG_{sac}) em relação à massa inicial podem ser calculados para cada tempo de processo, conforme as Equações 15 e 16.

$$\Delta P_a = \frac{(Mw_a) - (M_0w_a^0)}{M_0} \quad \text{Eq. (15)}$$

$$\Delta G_{sac} = \frac{(Mw_s) - (M_0w_s^0)}{M_0} \quad \text{Eq. (16)}$$

onde, w_a e w_s são, respectivamente, o teor de água e o teor de sacarose após um tempo t de DO, e w_a^0 e w_s^0 representam os mesmos teores no instante inicial ($t=0$).

O ganho de soluto (ΔG_{sol}) também pode ser calculado conforme a Equação 17.

$$\Delta G_{sol} = \Delta M - \Delta P_a \quad \text{Eq. (17)}$$

A eficiência (E) é medida pela relação entre perda de água e ganho de sólidos, como mostra a Equação 18.

$$E = \frac{\Delta P_a}{\Delta G_{sol}} \quad \text{Eq. (18)}$$

Para o estudo da cinética de desidratação osmótica, utilizou-se a equação de difusão de Fick, onde o fluxo de massa é proporcional ao gradiente de concentração dentro do sólido. Considerando-se densidade e difusividade constantes, a segunda Lei de Fick é representada pela Equação 19:

$$\frac{\partial w_i}{\partial t} = D_{ef} \nabla^2 w_s \quad \text{Eq. (19)}$$

onde: w_i = fração mássica da substância i (kg/kg, em base úmida), onde i =água ou sacarose (s,a); t = tempo de DO (s); D_{ef} = Coeficiente de difusão efetivo (m^2/s).

A solução analítica da equação aplicada a uma placa plana, é dada pela Equação 20 (CRANK, 1975):

$$W = \frac{\bar{w}_i - w_i^{eq}}{w_i^0 - w_i^{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2}{4} \pi^2 \frac{D_{ef} \cdot t}{L_0^2}\right], \quad i = s, a \quad \text{Eq. (20)}$$

onde: W = é a concentração adimensional; \bar{w}_i = concentração média do componente i no tempo t ; w_i^{eq} = concentração de equilíbrio; w_i^0 = concentração inicial do componente i ; D_{ef} = difusividade efetiva; t = tempo; L_0 = espessura da amostra; $i = s, a$ (s =sacarose; a =água).

3.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados das isotermas foram analisados por meio de parâmetros dos modelos matemáticos determinados pelo ajuste dos valores experimentais fazendo-se uso de regressão não linear do programa gráfico ORIGIN 6.0 – (MICROCAL SOFTWARE, 1997). O critério adotado para analisar qual o melhor modelo foi o coeficiente de determinação (R^2) e a raiz quadrada do erro médio (RMSE), Equação 21, como sugerido por Arslan & Togrul (2005).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_{pi})^2 \right]^{1/2} \quad \text{Eq. (21)}$$

As cinéticas de desidratação osmótica e secagem foram analisadas com base nas curvas representativas de cada processo. Para estimar a difusividade efetiva de ambos os tratamentos utilizou-se o modelo de difusão de Fick (CRANK, 1975).

Os dados experimentais foram analisados estatisticamente pelo programa STATISTICA 7.0, efetuando-se a análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para as comparações das médias ao nível de 5 % de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição físico-química do abacate variedade Fortuna encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Composição físico-química do abacate variedade Fortuna na matéria fresca.

Determinações	Valores
Acidez (g ácido.100 g ⁻¹)	0,94 ± 0,01
pH	6,86 ± 0,00
Sólidos solúveis (°Brix)	8,00 ± 0,52
Umidade (%)	86,00 ± 0,003
Lipídios (%)	6,30 ± 0,11
Proteína (%)	0,73 ± 0,07
Carboidratos totais (%)	6,58 ± nd*
Cinzas (%)	0,41 ± 0,02
Açúcares totais (g.100 g ⁻¹)	2,73 ± 0,02
Açúcares redutores (g.100 g ⁻¹)	2,74 ± 0,01

* nd=não determinado

Observa-se pela Tabela 2, que a polpa do abacate apresenta uma baixa acidez, que se traduz em um pH próximo da neutralidade; o conteúdo de sólidos solúveis também é relativamente baixo, o que favorece o consumo *in natura* desta fruta tanto com adição de sal como de açúcar; o teor de lipídeos encontrado, demonstra que esta é uma variedade favorável para fins de extração de óleo, embora os frutos analisados estivessem praticamente verdes; a percentagem de proteínas é consideravelmente alta quando comparado com outras frutas; a quantidade de carboidratos totais, mostra que a fruta é rica nesse nutriente, o que já foi confirmado em estudos, por ser uma boa fonte de fibras; as cinzas também apresentaram resultado satisfatório, mostrando que o abacate também é rico em constituintes minerais, destacando-se o potássio como principal elemento mineral.

Fatores que podem contribuir com a diferença entre os valores de nutrientes nos frutos são: os tratos culturais; as variedades; o clima; a época de colheita e também a forma de preparação das amostras, podendo haver perdas nutricionais durante a mesma.

A análise dos conteúdos de açúcares totais e redutores do abacate *in natura*, detectou apenas açúcares redutores nas amostras avaliadas. Resultados semelhantes também foram obtidos por Lopes (2009), o que foi associado à presença da enzima invertase no abacate, a qual atua na hidrólise da sacarose, fazendo com que o açúcar não redutor seja convertido em redutor. Essa inversão ocorre durante a preparação da amostra e pode ser minimizada quando o abacate é submetido à inativação enzimática por branqueamento térmico.

4.1 ATIVIDADES DE ÁGUA E ISOTERMAS DE SORÇÃO

O elevado conteúdo de umidade na polpa de abacate é o principal fator a ser considerado na obtenção do óleo e na conservação da fruta *in natura*, pois afeta o rendimento da extração e confere alta perecibilidade à matéria-prima onerando o custo de produção.

O método gravimétrico estático proposto por Jowitt et al. (1987) foi utilizado para determinar as isotermas de dessorção nas temperaturas de 30, 50 e 70°C para o abacate fresco e branqueado termicamente.

As diferentes UR foram obtidas e controladas empregando-se soluções salinas saturadas para uma faixa de umidade relativa de 10% a 90% (GREENSPAN, 1977). As médias das umidades de equilíbrio das amostras frescas e branqueadas, em base seca, foram obtidas pela relação entre a massa de água da amostra, no equilíbrio, e a massa seca, determinada em estufa. As umidades de equilíbrio de abacate fresco e branqueado foram diretamente proporcionais à umidade relativa, decrescendo com o aumento da temperatura, para um mesmo valor de umidade relativa, ao qual foram submetidas, seguindo o comportamento da maioria dos produtos agrícolas.

Na Tabela 3 encontram-se os valores obtidos experimentalmente, representando a umidade de equilíbrio em função da temperatura e da atividade de água. O equilíbrio higroscópico foi alcançado entre 36 e 70 dias, dependendo do sal e da temperatura utilizada. Em seguida determinou-se a umidade das amostras por secagem em estufa a vácuo a 60°C e 10 kPa, até peso constante.

Tabela 3. Umidades de equilíbrio (Kg água/Kg sólidos secos) do abacate fresco e branqueado em função das temperaturas e atividades de água dos sais utilizados.

Temperatura	Sais	Atividade de Água a_w	Umidade de Equilíbrio	
			(bs)* X_{eq} Abacate Fresco	(bs)* X_{eq} Abacate Branqueado
30°C	LiCl	0,1128	0,0099±0,0014 ^{ns}	0,0081±0,0008 ^{ns}
	CH ₃ COOK	0,2160	0,0121±0,0010	0,0146±0,0010
	MgCl ₂	0,3244	0,0173±0,0009	0,0220±0,0012
	K ₂ CO ₃	0,4317	0,0288±0,0021	0,0310±0,0021
	NaBr	0,5603	0,0458±0,0006	0,0534±0,0022
	NaNO ₂	0,6330	0,0647±0,0075	0,0586±0,0037
	NaCl	0,7509	0,1013±nd**	0,0966±0,0052
	BaCl ₂	0,9000	0,2484±0,0015	nd**
50°C	LiCl	0,1110	0,0051±0,0009 ^{ns}	0,0053±0,0004 ^{ns}
	CH ₃ COOK	0,1890	0,0063±0,0013	0,0077±0,0016
	MgCl ₂	0,3050	0,0159±0,0009	0,0155±0,0017
	K ₂ CO ₃	0,4270	0,0261±0,0006	0,0253±0,0022
	NaBr	0,5090	0,0416±0,0015	0,0411±0,0042
	NaNO ₂	0,5880	0,0599±0,0020	0,0526±0,0028
	NaCl	0,7443	0,1092±0,0008	0,0914±0,0100
	BaCl ₂	0,8850	0,2238±0,0013	0,1897±0,0082
70°C	LiCl	0,1073	0,0049±0,0014 ^{ns}	0,0069±0,0008 ^{ns}
	CH ₃ COOK	0,1620	0,0082±0,0002	0,0096±0,0032
	MgCl ₂	0,2760	0,0187±0,0008	0,0176±0,0010
	K ₂ CO ₃	0,4160	0,0264±0,0032	0,0265±0,0014
	NaBr	0,4970	0,0351±0,0013	0,0319±0,0017
	NaNO ₂	0,5440	0,0469±0,0026	0,0432±0,0041
	NaCl	0,7506	0,0835±0,0018	0,0658±0,0091
	BaCl ₂	0,8700	0,1369±0,0024	0,1292±0,0193

*bs: umidade de equilíbrio em base seca; **nd: não determinado; ns: não significativo.

	70	0,9980	0,0027		0,1617	0,0899	6,9098	1,3044		
	30	0,9990	0,0038	0,0390					0,8438	
Oswin	50	0,9952	0,0052	0,0415					0,8321	
	70	0,9949	0,0036	0,0371					0,6946	
	30	0,9948	0,0030						2,8169	0,0270
BET	50	0,9925	0,0071						3,4194	0,0232
	70	0,9922	0,0088						8,1093	0,0173
	30	0,9951	0,0030						2,2724	0,9690
GAB	50	0,9990	0,0052						1,0550	0,9264
	70	0,9932	0,0088						4,7987	0,9719
	30	0,9884	0,0036	0,0317					0,9480	
Halsey	50	0,9888	0,0078	0,0218					1,0477	
	70	0,9890	0,0088	0,0133					1,1493	
Branqueada	30	0,9916	0,0035	10,4622					0,8542	
Henderson	50	0,9982	0,0055	6,8539					0,6904	
	70	0,9812	0,0098	11,6639					0,8342	
	30	0,9946	0,0031		0,0776	0,2000	1,0962	5,6677		
Peleg	50	0,9992	0,0051		0,1323	0,2968	1,8011	10,3777		
	70	0,9967	0,0083		0,0853	0,4668	1,2459	15,0446		
	30	0,9951	0,0030	0,0403					0,7894	
Oswin	50	0,9972	0,0058	0,0375					0,7988	
	70	0,9926	0,0087	0,0333					0,7057	

Embora os ajustes de Peleg tenham sido satisfatórios, o modelo de GAB é um modelo teórico, apresentando significado físico na estimativa da umidade da monocamada. Chirife e Iglesias (1978) observam que os modelos de GAB e de BET são os mais utilizados em alimentos.

O modelo GAB é considerado o modelo de sorção mais versátil disponível na literatura, uma vez que foi apresentado para ajustar os dados experimentais de sorção de quase todos os produtos e cobrir valores mais elevados da faixa da atividade de água, em comparação com o modelo de BET (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). A equação triparmétrica desse modelo permite um melhor ajuste dos dados de sorção dos alimentos até a atividade de água de 0,9. Essa relação é um importante critério no estabelecimento das condições de estocagem e de embalagem dos produtos. (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010) mencionam a importância das isotermas de adsorção e dessorção, no cálculo da atividade de água para compostos com diferentes umidades, no estudo do tipo de embalagem quanto à capacidade de sorção do alimento, e também na previsão do grau de desidratação de um produto exposto à mudança de temperatura ambiente durante o armazenamento.

Kiranoudis et al. (1997) sugeriram o modelo de GAB para representar as isotermas de maçã, pêra, kiwi e banana. Kechaou e Maalej (1999) verificaram que esse modelo também representou satisfatoriamente as isotermas de dessecção de polpa de banana a 35, 50 e 70°C com atividade de água variando de 0,00 a 0,90. Park; Yado; Brod (2001), em estudos com umidade de equilíbrio de pêra desidratada e *in natura*, verificaram que o modelo de GAB se ajustou melhor aos seus dados experimentais para ambos os tipos de amostras.

Lomauro et al., (1985) verificaram que a equação de GAB pode representar com grande precisão mais que 50% das isotermas de frutas, vegetais e carnes, quando comparada com equações de dois parâmetros.

Para as maiores atividades de água, as umidades de equilíbrio encontradas nas amostras frescas e branqueadas, na temperatura de 70°C, foram menores que nas outras temperaturas. A 30 e 50°C a influência da temperatura foi baixa e as curvas resultaram próximas. Houve uma discreta redução da umidade de equilíbrio das amostras branqueadas em relação às frescas, o que foi atribuído à perda de substâncias solúveis durante o branqueamento térmico. Com base nas umidades de equilíbrio, constata-se que a temperatura de 70°C pode aumentar a eficiência da secagem em comparação com 50°C em frutos de abacate.

De acordo com a classificação de Brunauer; Emmett; Teller (1938), as curvas obtidas neste trabalho são do Tipo III ou estão entre o Tipo II e o III (levemente sigmoidal).

As isotermas do Tipo III, segundo a classificação de Brunauer, são consideradas típicas de alimentos ricos em componentes solúveis, tais como café e soluções com alto teor de açúcares. Curvas que apresentam uma zona mais plana na primeira parte da curva, ou seja, em forma de J, são típicas de alimentos que têm pouca adsorção por capilaridade, como as frutas e os doces de frutas (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A inversão da curva, como observado pelos gráficos da Figura 9, dependem da composição do alimento e da solubilidade dos solutos presentes. Este fenômeno geralmente ocorre em alimentos com alto conteúdo de açúcar, no caso do abacate, foi atribuído a presença do elevado teor de lipídios da polpa, e o

aumento da temperatura e da atividade de água possivelmente tenha favorecido a mobilidade do óleo, reduzindo os sítios de ligação da água.

A relação entre a fração oxidável e a fração estável dos lipídios num mesmo alimento pode ser modificada pela formulação e pelas condições de processamento. Determinados processos, como o branqueamento térmico e a secagem, tem como consequência a alteração da estrutura do tecido, provocando a ruptura dos glóbulos de gordura, favorecendo a ação de enzimas lipolíticas (lipases), a eliminação de água e aumentando a exposição ao oxigênio. A presença de uma fase lipídica contínua resulta na formação de uma maior superfície de troca com o meio e na consequente predisposição à oxidação (BERSET; CUVELIER, 1996; HAMILTON et al., 1983).

A oxidação lipídica é influenciada pela atividade de água do alimento. A água presente na superfície dos alimentos forma ligações de hidrogênio com peróxidos, protegendo-os da decomposição e diminuindo a velocidade de oxidação. Isso é verificado para atividades de água entre 0 e 0,2 ou aquelas inferiores a X_m (conteúdo de umidade na monocamada molecular). A partir do valor de 0,5 para a atividade de água, aumenta-se a difusão dos metais catalisadores da oxidação e a velocidade de degradação dos lipídios aumenta. Frutas secas, normalmente, apresentam atividade de água entre 0,6 e 0,85, intervalo que coloca a oxidação lipídica como uma das principais causas de deterioração de alimentos desidratados durante o armazenamento. Nesse caso, para uma longa vida útil dos alimentos ricos em ácidos graxos, devem-se utilizar antioxidantes (recomenda-se a sulfitação) para evitar a formação de peróxidos e embalagem que proteja o alimento da luz e que diminua a concentração de oxigênio (atmosfera modificada ativa, vácuo). Outro método de conservação que retarda a oxidação lipídica é a refrigeração ou congelamento (CELESTINO, 2010).

As curvas que apresentaram melhor ajuste aos valores experimentais obtidos em abacate fresco e branqueado, nas diferentes temperaturas, são mostradas nas Figuras 11 e 12.

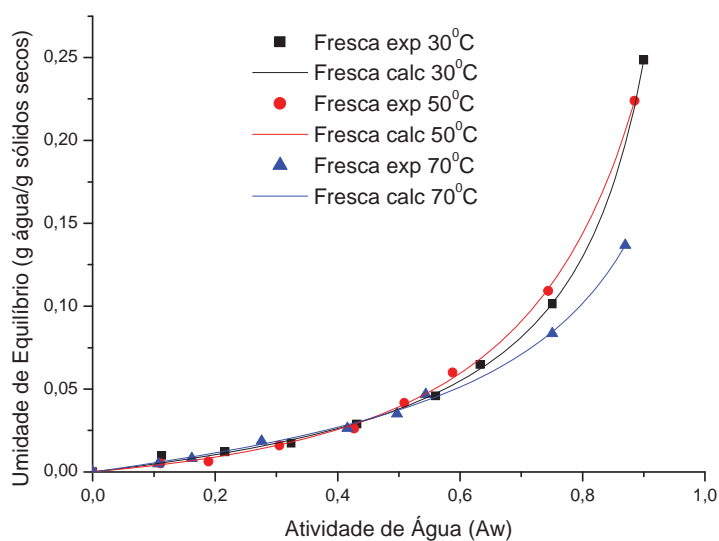


Figura 11. Ajustes experimentais e calculados pelo modelo de GAB para isotermas de equilíbrio de abacate fresco a 30, 50 e 70°C.

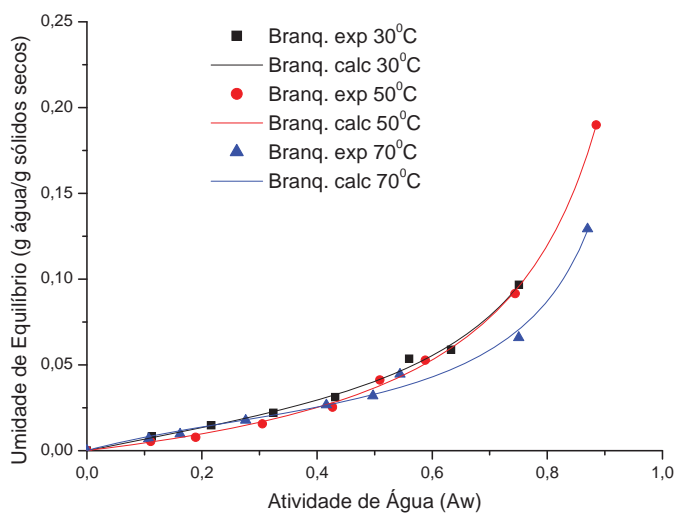


Figura 12. Ajustes experimentais e calculados pelo modelo de GAB para isotermas de equilíbrio de abacate branqueado a 30, 50 e 70°C.

4.2 PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS

O calor isotérico líquido de sorção foi calculado para o abacate fresco e branqueado, baseando-se nas isotermas de sorção ajustadas pelo modelo de GAB. O calor isotérico líquido de sorção ou entalpia de sorção foi estimado a partir da equação de Clausius-Clapeyron como descrito na Equação 11.

Pelo modelo de GAB, encontraram-se as atividades de água nas diferentes temperaturas, para valores de umidades constantes. A partir dos valores de atividade de água, calculou-se o \ln_{aw} e o inverso da temperatura $1/T$ (K). Plotando-se graficamente \ln_{aw} em função $1/T$ encontramos a equação da reta e através dela obtemos o coeficiente angular ($-\Delta H/R$) e o coeficiente linear ($\Delta S/R$), que substituídos na Equação 11, chegamos ao valor do q_{st} (J/mol), como mostra as Figuras 13 e 14.

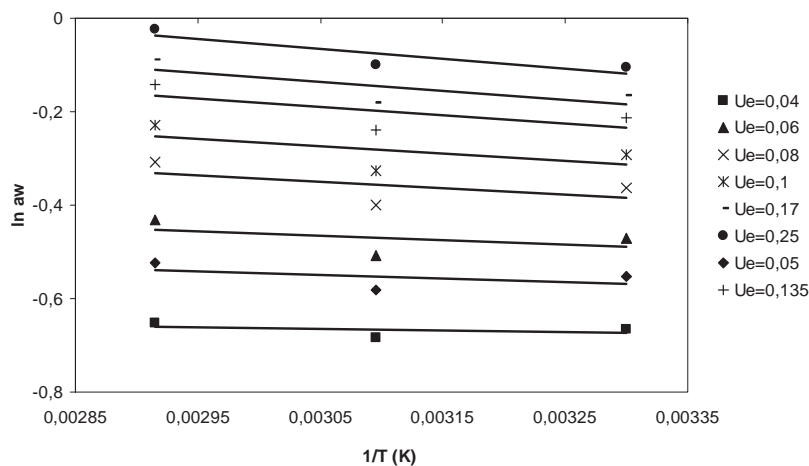


Figura 13. Curvas do logaritmo neperiano da atividade de água (decimal), para valores específicos do teor de água de equilíbrio (% b.s.), em função de valores do inverso da temperatura absoluta do ar (K) para abacate fresco.

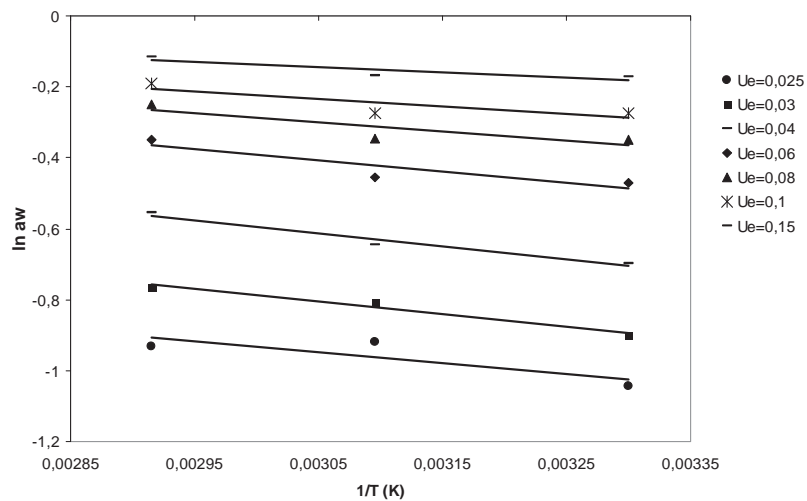


Figura 14. Curvas do logaritmo neperiano da atividade de água (decimal), para valores específicos do teor de água de equilíbrio (% b.s.), em função de valores do inverso da temperatura absoluta do ar (K) para abacate branqueado.

O calor isostérico foi determinado por meio de regressões lineares dos dados do logaritmo neperiano da atividade de água versus o inverso da temperatura para diferentes valores de umidade de equilíbrio. O resultado numérico da multiplicação entre a inclinação das retas obtidas (para cada conteúdo de água de equilíbrio) e a constante universal dos gases (R), resultaram nos valores do calor isostérico de dessecção (q_{st}), em $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$, de abacate fresco e branqueado respectivamente, como mostram as Figuras 15 e 16.

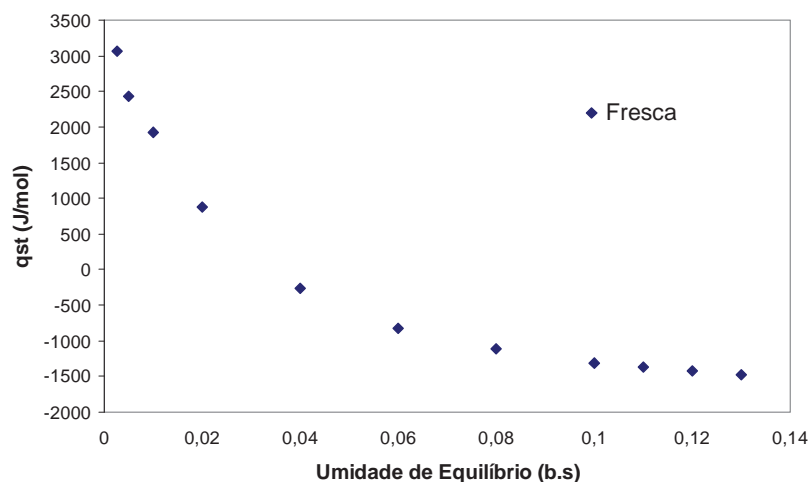


FIGURA 15. Curvas isotérmicas de dessecamento em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.), baseadas na equação de Clausius-Clapeyron para abacate fresco.

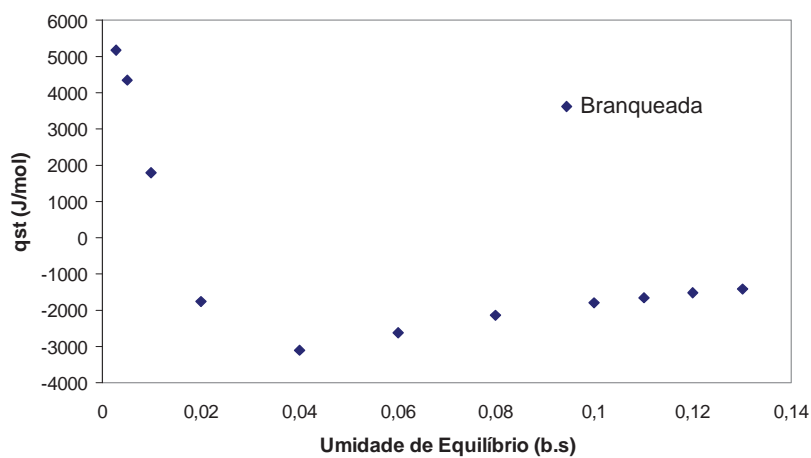


FIGURA 16. Curvas isotérmicas de dessecamento em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.), baseadas na equação de Clausius-Clapeyron para abacate branqueado.

A Figura 15 mostra que nas amostras frescas o calor de sorção diminuiu com o aumento da umidade, indicando que a redução do teor de umidade requer maior quantidade de energia para remoção de água.

Frutas como abacate que contém grandes quantidades de lipídios podem produzir parâmetros termodinâmicos incomuns, como por exemplo, apresentar valores negativos do calor de sorção. Esse comportamento é semelhante ao reportado por diversos autores, como para batata (McINN; AL-MUHTASEB; MAGEE, 2004), marmelada (SÁ; SERENO, 1993) e tâmara (MYHARA et al., 1998). Os valores do calor líquido de dessorção do abacate fresco variaram de 3058,2 a -1468,9 J/mol para umidades de equilíbrio de 0,27 a 13%, em base seca.

Já nas amostras branqueadas verificou-se que há inicialmente uma redução do calor de sorção e em seguida esse valor aumenta, demonstrando que em níveis mais elevados de umidade, a força da ligação de água com o produto aumenta. Os valores do calor líquido de dessorção do abacate branqueado variaram de 5172,5 a -1425,6 J/mol para umidades de equilíbrio de 0,27 a 13%, em base seca.

A diferença encontrada no comportamento da curva do calor de dessorção das amostras frescas e branqueadas foi atribuída à presença de quantidade substancial de óleo na polpa de abacate. Molina Filho et al. (2011) ao estudarem o calor isostérico líquido de sorção de abóbora fresca e branqueada termicamente, também verificaram diferença no comportamento das curvas, porém os valores resultaram inferiores para as amostras branqueadas e esse resultado foi relacionado com o conteúdo mais elevado de açúcar nas amostras frescas. Com as amostras de abacate o resultado foi inverso em baixíssimas umidades, isto é, valores maiores de calor isostérico de sorção foram encontrados nas amostras branqueadas, que também apresentaram um mínimo para umidade de equilíbrio em torno de 4%, em base seca.

Iglesias e Chirife (1982) verificaram que a presença de gordura ou óleo podem contribuir para a menor capacidade de sorção de água em culturas agrícolas, onde a presença de uma quantidade elevada de óleo irá contribuir para a presença de água localizada, uma vez que água e óleo são imiscíveis. A variação desse comportamento seria atribuída às moléculas de óleo presentes no produto, que tendem a aumentar sua fluidez com o aumento da temperatura e poderiam influenciar sobre a maior disponibilidade de água. Portanto, o elevado conteúdo

de óleo, associado ao tratamento térmico, poderia ter influência sobre a disponibilidade da água.

Outro fator importante, é que os lipídios estão presentes na membrana plasmática e as moléculas de gordura apresentam propriedades hidrofílicas e hidrofóbicas, porém nas cadeias dos ácidos graxos, altamente presentes no abacate, elas formam uma região que é exclusivamente hidrofóbica, ou seja, exclui a água (TAIZ; ZEIGER, 2009).

As variações físicas e/ou químicas que ocorreram no produto induzidas pelo aumento da temperatura mostrou que a ligação dos constituintes não aquosos do alimento com moléculas de água diminui. Isso pôde ser observado através da análise de gordura do material fresco e branqueado, em que as amostras branqueadas apresentaram um teor mais elevado de óleo em comparação com as amostras frescas, como mostra a Tabela 5. Esse resultado foi atribuído aos danos sofridos no tecido vegetal, fazendo com que as moléculas de óleo ficassem mais livres (fluídas) no produto, tornando-as mais fáceis de serem quantificadas nas amostras branqueadas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Tabela 5. Comparação do teor de gordura do abacate fresco e branqueado termicamente.

Amostras	Gordura (%)
Frescas	4,420±0,0537
Branqueadas	5,727±0,0548

A entropia de sorção é considerada, por alguns autores (DOMINGUEZ et al., 2007; BERISTAIN et al., 1994; BERISTAIN; AZUARA, 1990; AZUARA; BERISTAIN, 2006), como a melhor condição para garantir a estabilidade de um produto durante o armazenamento. Ela foi calculada através da multiplicação entre o coeficiente linear das retas obtidas (para cada conteúdo de água de equilíbrio) e a constante universal dos gases (R). As curvas da entropia nas amostras frescas e branqueadas apresentaram comportamentos diferentes, como

pode ser observado nas Figuras 17 e 18, porém os valores foram próximos, sendo maiores para as amostras frescas. O conhecimento do comportamento termodinâmico desse material nos permite estudar e entender a ordenação das moléculas de água no interior deste produto. A diferença entre as curvas de entropia das amostras, reflete as alterações ocorridas na microestrutura do material durante o pré-tratamento térmico.

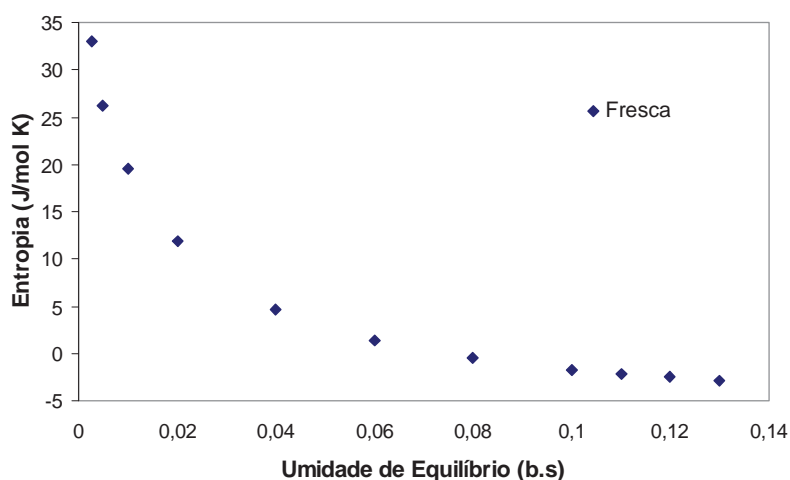


FIGURA 17. Curvas da entropia de dessorção em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.), para abacate fresco.

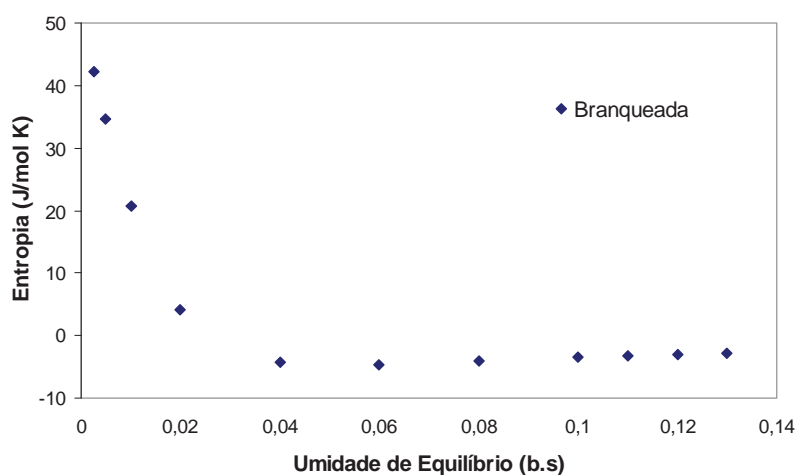


FIGURA 18. Curvas da entropia de dessorção em função do teor de água de equilíbrio (% b.s.), para abacate branqueado.

4.3 CINÉTICA DA SECAGEM CONVECTIVA

A determinação da espessura e do peso, no ensaio da secagem, foi descrita pela média de aproximadamente 15 fatias de abacate e 8 frutos inteiros, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6. Valores médios do peso dos frutos inteiros e da espessura das fatias de abacate *in natura* na secagem convectiva.

Tratamentos	Peso (g)	Espessura (mm)
	789,95	8,5
	670,21	8,6
	748,87	8,5
	682,46	8,6
	819,94	8,3
	901,56	8,2
	627,05	8,4
Secagem	821,48	8,5
	-	8,6
	-	8,4
	-	8,5
	-	8,6
	-	8,4
	-	8,4
	-	8,4
	-	8,5
Média	757,7	8,5

As curvas de secagem foram descritas em termos de umidade adimensional em função do tempo de secagem. Assim, as curvas de secagem de abacate fresco e branqueado a 50, 60 e 70°C foram analisadas graficamente. Na Tabela 7, são apresentados os valores da umidade e atividade de água das amostras frescas e branqueadas, antes e depois da secagem.

Tabela 7. Valores médios de umidade e atividade de água de abacate fresco e branqueado.

Amostra	Tratamento	Tempo (h)	T°C	Umidade (b.s)	Aw
<i>IN NATURA</i>	Fresca	-	50	0,832±0,0007*ns	0,994±0,0007 ^{ns}
		-	60	0,861±0,0001	0,994±0,0014
		-	70	0,847±0,0002	0,993±0,0014
	Branqueada	-	50	0,839±0,0002	0,995±0,0000
		-	60	0,858 ±0,0002	0,999±0,0000
		-	70	0,847±0,0011	0,995±0,0000
SECA	Fresca	7	50	0,208±0,0184 ^{ns}	0,891±0,0180 ^{ns}
		6	60	0,105±0,0042	0,714±0,0332
		6	70	0,063±0,0027	0,519±0,0501
	Branqueada	7	50	0,174±0,0146	0,864±0,0262
		6	60	0,190±0,0278	0,888±0,0161
		6	70	0,098±0,0147	0,709±0,0267

*Desvio Padrão; ns: não significativo

4.3.1 Efeito da temperatura e do pré tratamento sobre a taxa de secagem em fatias de abacate fresco e branqueado.

Para avaliar o efeito da temperatura na cinética de secagem do abacate fresco e pré-tratado por branqueamento foram construídos os gráficos das curvas de secagem obtidos nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, observando-se a redução do conteúdo de umidade em função do tempo, conforme mostra a Figura 19.

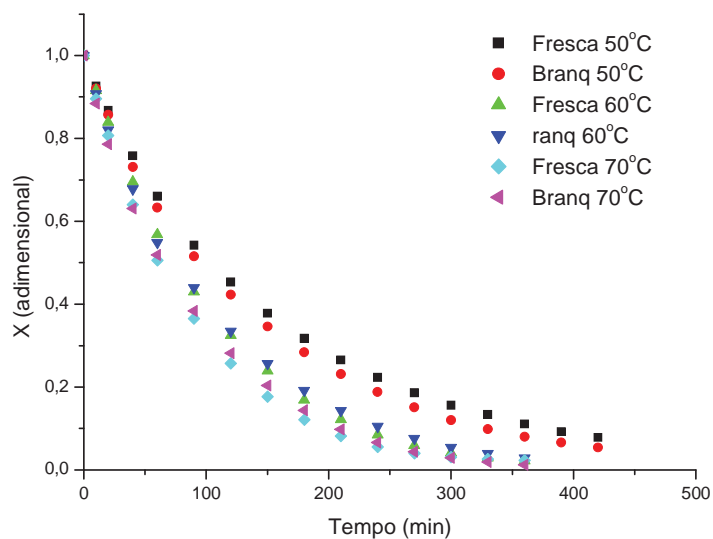


Figura 19. Cinética de secagem do abacate fresco e branqueado a 50, 60 e 70°C.

Da Figura 19 observa-se que a temperatura de secagem exerce influência sobre a velocidade de secagem das amostras, sendo o tempo de secagem menor com o aumento da temperatura, para um mesmo tempo de processo. As amostras secas à temperatura de 70°C apresentaram melhores resultados, conseguindo-se maior velocidade de secagem. As amostras a 60°C apresentaram maior eficiência que a 70°C no início da secagem, porém as diferenças diminuíram conforme a secagem avançou. A 50°C a eficiência foi bem menor.

Segundo Kompany et al., (1990), o tipo de matéria-prima também pode influenciar positivamente na velocidade de secagem, porém temperaturas de secagem elevadas podem modificar a textura e a cor do produto comprometendo sua qualidade final.

O tratamento térmico alterou a granulosidade da polpa de abacate, tornando-o com aparência de um purê ou pasta após o branqueamento térmico. Apesar de o branqueamento térmico ser efetivo para inativação da polifenoloxidase, pode resultar no desenvolvimento de gosto amargo no abacate, off-flavors (BEN-ET; DOLEV; TATARSK, 1973), comprometendo a aceitação

dos produtos pelos consumidores. Foi observado que o sabor amargo se intensificou com o aumento da temperatura de secagem e também com o amadurecimento dos frutos, indicando que o acréscimo do conteúdo de óleo na polpa favoreça o aparecimento do sabor desagradável desse produto. Como pode ser observado pela Tabela 8, quanto maior o grau de maturação, maior o conteúdo de óleo.

Tabela 8. Comparação do teor de gordura do abacate Fortuna verde e maduro.

Grau de Maturação	Gordura (%)
Verde	4,420±0,0537
Maduro	9,328±0,1949

Santos (1985), investigando o processo de refinação do óleo de abacate, verificou que o óleo bruto apresentava coloração verde intensa, odor desagradável e sabor amargo. Após as etapas de neutralização, clarificação e desodorização, obteve um óleo com uma coloração amarelo-esverdeada cristalina, inodoro e de sabor suave, próprio para consumo.

Soares et al., (1991) estudando a refinação do óleo de abacate, verificaram que o refino promoveu uma redução de aproximadamente 98% nos teores de clorofila e feofitina. Observou-se, ainda, nos óleos brutos e neutros, certa resistência ao processo oxidativo induzido, mostrando que há um mecanismo que impede o processo oxidativo do óleo, provavelmente devido à presença de compostos antioxidantes naturais presentes na fração insaponificável ou como proposto por Werma e Neeman (1986), a própria clorofila quando em ausência de luz pode agir como antioxidante. Já os óleos clarificados e desodorizados desencadearam o processo oxidativo. A respeito do perfil dos principais ácidos graxos presentes no abacate, não foram verificadas alterações expressivas nas diferentes etapas do processo de refinação (SOARES et al., 1991)

Pela Figura 19 observa-se também o efeito do branqueamento sobre a cinética de secagem de abacate nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. Verifica-se que o branqueamento térmico não exerceu influência considerável sobre a velocidade de secagem em frutos de abacate quando comparadas com as amostras *in natura*, para as mesmas condições de temperatura estudadas. Entretanto, a 50°C fica clara a maior eficiência de secagem das amostras branqueadas. A 60 e 70°C esse comportamento foi inverso, ainda que as diferenças tenham sido muito pequenas.

Mazza (1983) durante o estudo da secagem com ar quente em cenoura pré-tratada por congelamento e branqueamento, observou que o branqueamento exerce maior influência que o congelamento, na velocidade de secagem e na qualidade do produto final. Conforme Kompany et al. (1990) este aumento na velocidade de secagem de amostras pré-tratadas, deve-se ao fato desses pré-tratamentos modificarem favoravelmente a estrutura inicial da matéria-prima, melhorando a transferência de umidade nessas amostras. As secagens com abacate mostram esse mesmo comportamento a 50°C, ainda que com poucas diferenças. A 60 e 70°C o comportamento se inverte, porém, os resultados são quase coincidentes.

Concluiu-se que o branqueamento quase não influenciou a eficiência de secagem em frutos de abacate. Provavelmente esse comportamento está associado à baixa porosidade do tecido de abacate bem como ao aumento do conteúdo de óleo.

Acredita-se que quanto mais o óleo se espalhe pela superfície das fatias de abacate, pior será a secagem. É possível que o branqueamento facilite a liberação do óleo do conteúdo celular, o que não contribuirá para a melhoria das taxas de secagem.

4.3.2 Coeficiente de difusão efetivo

Os valores da difusividade efetiva (D_{ef}) foram obtidos pela aplicação da teoria de difusão de Fick que descreve a secagem no período de taxa decrescente, utilizando geometria de placa infinita. Os ajustes dos dados experimentais foram obtidos por meio de regressão não linear, com o auxílio do software ORIGIN 6.0.

As curvas de secagem foram ajustadas pelo modelo de Fick e a eficiência dos ajustes foi boa, apresentando coeficientes de determinação (R^2), superiores a 0,97. Na secagem a 50 e 60°C, a D_{ef} resultou em valores da ordem de 10^{-10} m²/s para as amostras frescas e branqueadas e a 70°C os resultados foram semelhantes entre as duas amostras, porém, superiores às duas primeiras temperatura de secagem, resultando em valores da ordem de 10^{-9} m²/s, como mostra a Tabela 9. As Figuras 20 e 21 mostram respectivamente as curvas ajustadas pelo modelo de Fick.

Tabela 9. Valores do coeficiente de difusão de abacate fresco e branqueado.

Amostra	T°C	Difusividade efetiva (m ² /s)	R ²
Fresca	50	$6,1 \times 10^{-10}$	0,980
	60	$9,3 \times 10^{-10}$	0,970
	70	$1,1 \times 10^{-9}$	0,976
Branqueada	50	$6,9 \times 10^{-10}$	0,981
	60	$9,1 \times 10^{-10}$	0,979
	70	$1,1 \times 10^{-9}$	0,983

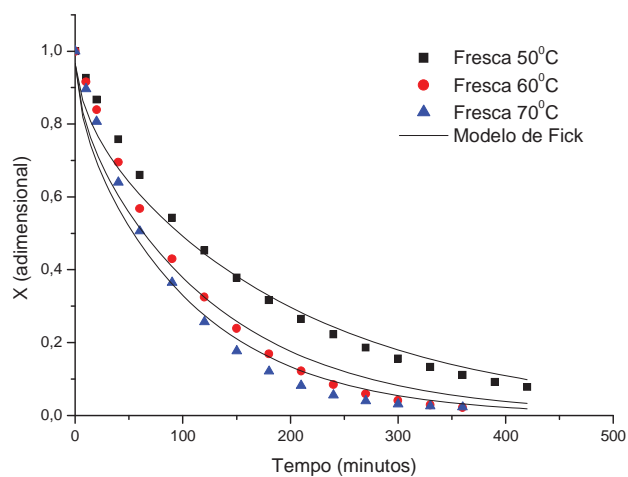


Figura 20. Comparação entre umidade (adimensional) experimental e calculada, através do modelo de Fick, em função do tempo de secagem de abacate fresco a 50, 60 e 70°C.

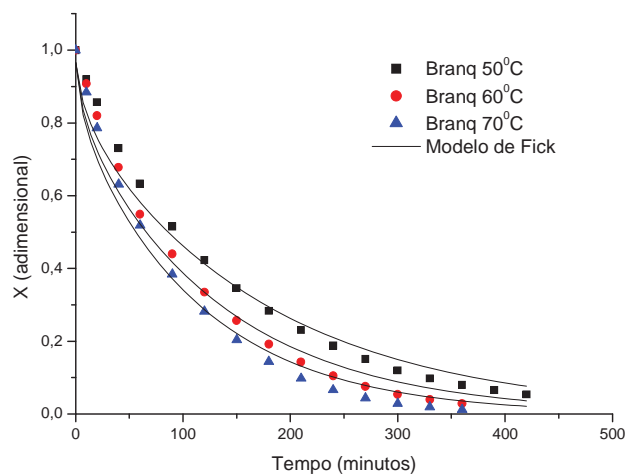


Figura 21. Comparação entre umidade (adimensional) experimental e calculada, através do modelo de Fick, em função do tempo de secagem de abacate branqueado a 50, 60 e 70°C.

Observa-se pelas curvas que a elevação da temperatura influenciou positivamente a secagem, pois aumentou consideravelmente a difusão, já o branqueamento térmico não exerceu influência considerável sobre a difusividade da água nas temperaturas de secagem estudadas.

Togrul & Pehlivan (2003) investigaram o comportamento de damascos durante a secagem convectiva e verificaram que a taxa de secagem decresceu continuamente com o tempo, mostrando que o mecanismo físico da difusão teve grande influência na secagem desse fruto.

Os valores de difusividade encontrados estão dentro da faixa reportada na literatura para secagem de diferentes tipos de vegetais (PARK; YADO; BROD, 2001).

4.4 CINÉTICA DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

A determinação da espessura e do peso, foram descritas pela média de aproximadamente 15 fatias de abacate e 8 frutos inteiros, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10. Valores médios do peso dos frutos inteiros e da espessura das fatias de abacate *in natura* na desidratação osmótica.

Tratamentos	Peso (g)	Espessura (mm)
DO	1145,71	8,6
	1006,51	8,3
	748,01	8,4
	917,16	8,4
	1392,81	8,2
	915,15	8,7
	944,88	8,6
	1023,5	8,7
	-	8,4
	-	8,5
	-	8,5
	-	8,6
	-	8,3
	-	8,4

	-	8,2
Média	1011,7	8,5

A eficiência foi calculada, para cada tratamento, com base na perda de água e ganho de solutos, determinada pelo levantamento de dados experimentais de massas e teores de sólidos totais. Verificou-se também o ganho de sacarose por meio da análise dos açúcares totais e redutores e o teor de ácido cítrico pela análise da acidez titulável.

Na cinética de desidratação osmótica observou-se que os valores de perda de água são superiores aos de perda de massa e que o ganho de sólidos foi mais eficiente nos primeiros trinta minutos do processo na solução de 50% de sacarose, já nas soluções de sacarose com adição de ácido cítrico esse ganho foi superior aumentando progressivamente. A rápida perda de água, em comparação com o ganho de solutos, é frequentemente observada nos primeiros 30 minutos de DO (KOWALSKA; LENART, 2001).

A variação de massa, perda de água, ganho de sólidos e a eficiência da desidratação osmótica estão representados na Tabela 11.

Tabela 11. Valores obtidos na cinética da desidratação osmótica de abacate var. Fortuna.

Sacarose (%)	Ácido Cítrico (%)	Tempo (h)	ΔM^*	Perda de Água	Ganho de Sólidos ^{ns}
50	-	0,5	11.72 ^a	15.62 ^a	2.72
		1,0	18.60 ^a	24.09 ^a	3.12
		2,0	24.67 ^b	29.93 ^b	3.92
		4,0	33.75 ^c	41.32 ^b	3.81
50	1	0,5	18.03±0.03 ^a	23.02±0.04 ^a	1.22±0.00
		1,0	26.20±0.03 ^a	32.67±0.04 ^a	1.15±0.00
		2,0	37.34±0.04 ^b	44.51±0.04 ^b	2.62±0.00
		4,0	49.15±0.05 ^c	57.74±0.05 ^b	3.91±0.00
50	2	0,5	19.01±0.04 ^a	23.81±0.05 ^a	1.50±0.00
		1,0	25.82±0.07 ^a	32.40±0.07 ^a	3.22±0.02

2,0	37.67±0.05 ^b	44.93±0.06 ^b	3.76±0.00
4,0	49.93±0.06 ^c	57.81±0.07 ^b	4.11±0.00

onde, P₀=Peso inicial; P_f=Peso final; ΔM=Variação de Massa; *Mesma letra na coluna não difere entre si, ao nível de 5% de probabilidade, por meio do teste de Tukey; ns=não significativo

O aumento da concentração de ácido cítrico na solução osmótica com 50% de sacarose produziu aumento da perda de água, ganho de sólidos e variação de massa na desidratação osmótica das fatias de abacate. O mesmo fenômeno foi observado quando se aumentou a concentração da solução osmótica de sacarose em desidratação de maçã (MOREIRA; SERENO, 2003), tomates tipo cherry (AZOUBEL; MURR, 2004), melancia (FALADE; IGBEKA; AYANWUYI, 2007) e abacaxi (BERISTAIN et al., 1990), devido a maior diferença no potencial químico da água e do soluto entre a amostra e a solução osmótica.

Foi constatado que a presença do ácido cítrico em soluções de sacarose aumentou a transferência de massa de água e de sacarose em maçãs impregnadas a vácuo e/ou branqueadas por aquecimento ôhmico (ALLALI; MARCHAL; VOROBIEV, 2010). Os autores atribuíram o fenômeno a danos no tecido celular provocados pelo ácido. Em mamões desidratados osmoticamente com solução de sacarose adicionada de ácido cítrico ou láctico, verificou-se que a solução contendo o ácido cítrico promoveu menos ganho de sólidos do que o láctico (EL-AOUAR; MURR, 2003).

Andrade et al. (2003), utilizando solução osmótica acrescida de ácido cítrico na desidratação osmótica do jenipapo, compararam os percentuais do produto tratado com o do fruto fresco e verificaram uma considerável diferença entre a variação de peso e elevada incorporação de sólidos favorecendo a aceitabilidade do produto.

Segundo Ispir e Torgul (2009) o aumento da concentração de soluto acarreta maior ganho de sólidos, o que nem sempre é desejável, pois pode afetar o sabor do produto tornando-o demasiadamente doce (ANTONIO et al., 2008) ou azedo dependendo do tipo de agente desidratante utilizado.

As Figuras 22, 23, 24 e 25 mostram respectivamente, a variação de massa, perda de água, ganho de sacarose e a eficiência do processo entre as amostras estudadas.

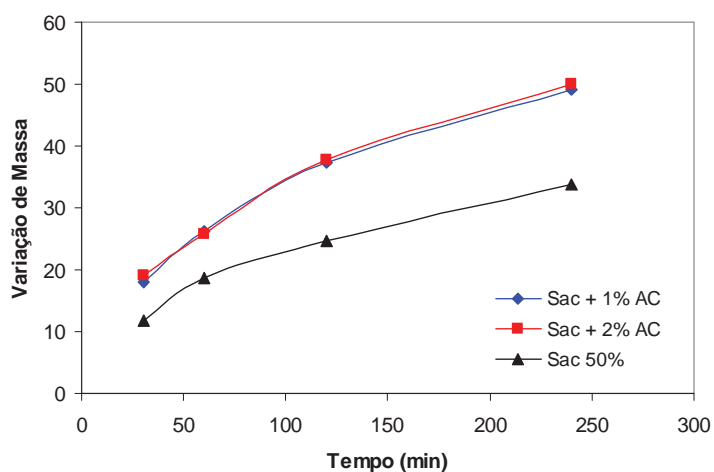


Figura 22. Variação de massa em função do tempo para as soluções osmóticas com sacarose e ácido cítrico.

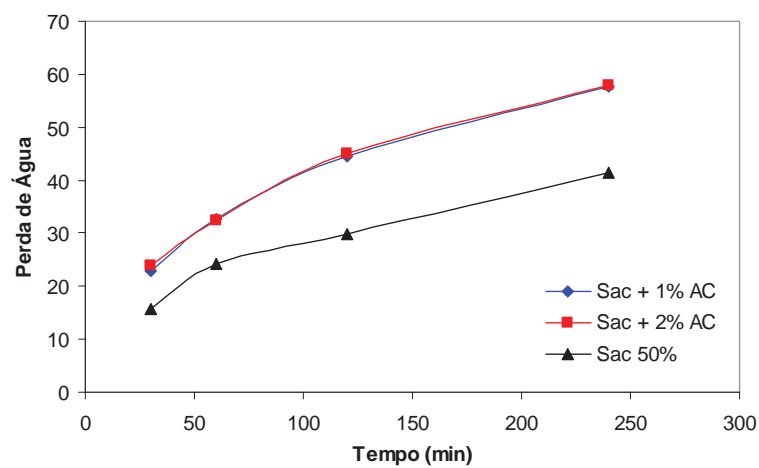


Figura 23. Perda de água massa em função do tempo para as soluções osmóticas com sacarose e ácido cítrico.

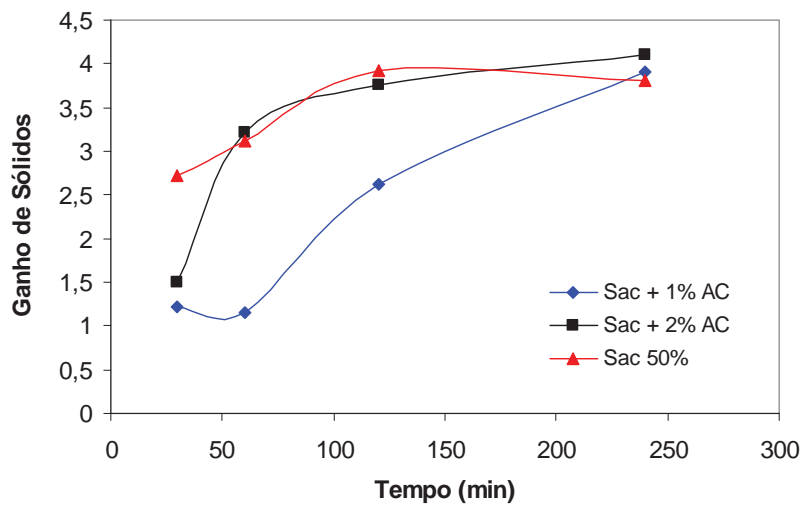


Figura 24. Ganho de sólidos em função do tempo para as soluções osmóticas com sacarose e ácido cítrico.

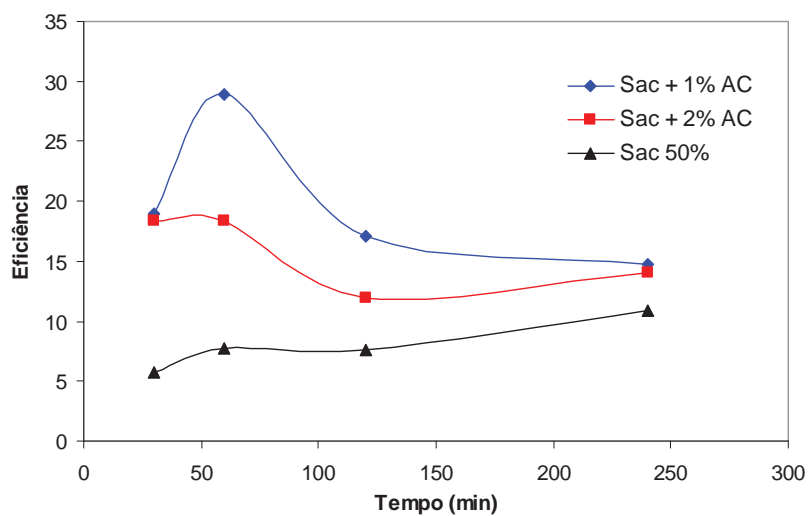


Figura 25. Eficiência em função do tempo para as soluções osmóticas com sacarose e ácido cítrico.

As análises realizadas nas amostras frescas e desidratadas osmoticamente estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12. Valores de umidade, pH, a_w , acidez, sólidos solúveis e açúcares redutores e totais em amostras frescas e desidratadas osmoticamente.

Sac (%)	AC (%)	t (h)	Umidade*	pH ^{ns}	a_w ^{ns}	Acidez (g ácido/100g) ^{ns}	°Brix	Açúcares redutores	Açúcares totais
50	-	0	82,62±0,00 ^a	5,14±0,00	0,992±0,001	0,072±0,000	9,80±0,10 ^a	2,888±0,001 ^a	2,756±0,003 ^a
		0,5	75,89±0,00 ^{ab}	5,28±0,006	0,986±0,000	0,056±0,000	14,13±0,15 ^{ab}	5,249±0,002 ^b	8,496±0,004 ^b
		1,0	71,91±0,00 ^b	5,52±0,017	0,987±0,001	0,046±0,004	20,07±0,38 ^{bc}	5,552±0,002 ^{bc}	9,588±0,001 ^{bc}
		2,0	69,94±0,00 ^{bc}	5,47±0,015	0,985±0,001	0,042±0,000	20,80±0,17 ^c	5,788±0,001 ^c	11,267±0,004 ^c
		4,0	62,34±0,00 ^c	5,53±0,026	0,979±0,001	0,035±0,004	29,37±0,32 ^d	6,481±0,002 ^d	12,527±0,006 ^d
50	1	0	87,97±0,00 ^a	4,66±0,015	0,996±0,004	0,128±0,008	6,63±0,12 ^a	2,888±0,001 ^a	2,756±0,003 ^a
		0,5	77,53±0,00 ^{ab}	4,52±0,012	0,995±0,000	0,172±0,009	9,63±0,12 ^{ab}	7,479±0,006 ^b	9,056±0,001 ^b
		1,0	73,62±0,00 ^b	4,31±0,006	0,987±0,003	0,280±0,007	17,93±0,15 ^{bc}	9,452±0,012 ^{bc}	11,095±0,002 ^{bc}
		2,0	68,35±0,00 ^{bc}	4,14±0,006	0,979±0,002	0,346±0,015	19,20±0,10 ^c	10,332±0,012 ^c	14,729±0,012 ^c
		4,0	57,40±0,00 ^c	3,97±0,015	0,959±0,001	0,485±0,012	32,47±0,12 ^d	11,463±0,011 ^d	19,588±0,006 ^d
50	2	0	87,86±0,00 ^a	5,18±0,025	0,996±0,002	0,082±0,012	7,10±0,10 ^a	2,888±0,001 ^a	2,756±0,003 ^a
		0,5	77,85±0,00 ^{ab}	4,23±0,010	0,993±0,001	0,310±0,006	10,47±0,06 ^{ab}	7,625±0,003 ^b	9,556±0,011 ^b
		1,0	73,45±0,00 ^b	4,05±0,021	0,987±0,001	0,490±0,009	18,47±0,23 ^{bc}	8,964±0,004 ^{bc}	13,363±0,033 ^{bc}
		2,0	66,53±0,00 ^{bc}	3,94±0,053	0,975±0,002	0,712±0,015	20,10±0,35 ^c	9,328±0,001 ^c	15,701±0,003 ^c
		4,0	54,89±0,00 ^c	3,71±0,006	0,963±0,002	0,970±0,018	38,53±0,35 ^d	12,376±0,001 ^d	21,147±0,020 ^d

onde, Sac=sacarose; AC= ácido cítrico; t=tempo; *Mesma letra na coluna não difere entre si, ao nível de 5% de probabilidade, por meio do teste de Tukey; ns=não significativo

Pela Tabela 12, observa-se maior redução do pH e aumento da acidez, sólidos solúveis e açúcares totais e redutores nas amostras mantidas em solução de sacarose + 2% de ácido cítrico. A menor atividade de água foi observada nas amostras em solução de sacarose + 1% de ácido cítrico.

Verificou-se uma redução média de 25% no teor de umidade dos frutos em solução de sacarose e de 35% em solução de sacarose + ácido cítrico, como visto na Tabela 12. Com base nos resultados obtidos observa-se tendência favorável ao uso do ácido cítrico, principalmente na concentração de 1% como agente desidratante, pois apresentou a maior eficiência de processo, além de ser mais

viável economicamente para a indústria de alimentos, pois comparado a outros ácidos, como o ácido ascórbico, ele tem custo inferior.

A utilização de aditivos combinados com diversos tipos de açúcar no processo osmótico, no caso especial de acidulantes, além da ação antioxidante, auxilia no aumento da taxa osmótica (HENG; GUIBERT; CUQ, 1990).

As variações encontradas entre as repetições devem-se, provavelmente à influência das condições climáticas e do estágio de maturação da fruta.

A Figura 26 mostra a redução do teor de umidade nas diferentes soluções desidratantes com o tempo de desidratação osmótica.

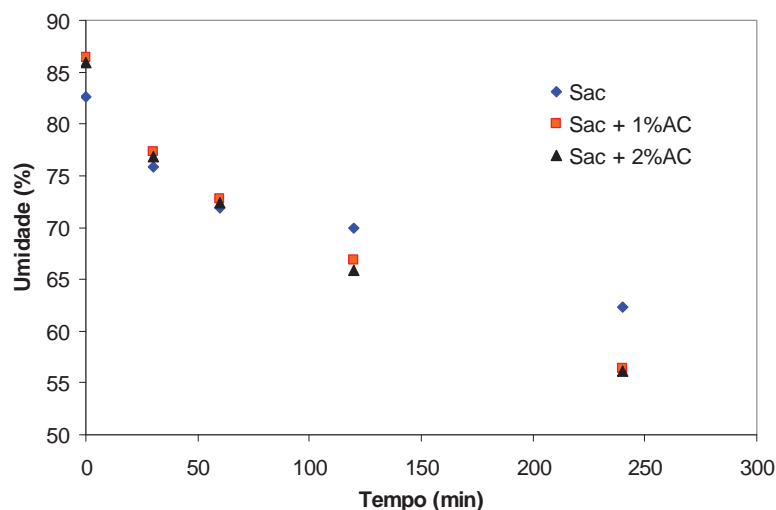


Figura 26. Comparação da redução do teor de umidade com o tempo para os diferentes tratamentos osmóticos.

O ensaio de equilíbrio foi realizado para as três condições estudadas, onde o mesmo foi alcançado com 48h de processo. As amostras foram fatiadas com espessura média de 4,0 mm. A redução da espessura da amostra faz com que esta entre em equilíbrio em um tempo menor, pelo aumento da área superficial em contato com a solução osmótica. A Tabela 13 mostra os dados de umidade e açúcares totais e redutores do equilíbrio.

Tabela 13. Valores de umidade e açúcares redutores e totais em amostras frescas e no equilíbrio.

Sacarose (%)	Ácido cítrico (%)	Tempo (h)	Umidade (%)	Açúcares redutores	Açúcares totais
Fresca	-	0	84,63±0,001	2,76±0,001	2,54±0,001
50	-	48	46,74±0,002	6,71±0,000	36,48±0,012
50	1	48	42,36±0,002	15,86±0,006	33,25±0,040
50	2	48	42,96±0,002	15,04±0,003	32,23±0,009

A Tabela 13 mostra maior quantidade de açúcares redutores entre as amostras frescas, devido à presença da enzima invertase no abacate, a qual atua na hidrólise da sacarose, fazendo com que o açúcar não redutor seja convertido em redutor. Houve aumento dos açúcares redutores entre as amostras do equilíbrio, porém esse valor não foi superior ao de açúcares totais. Observa-se também acréscimo dos açúcares totais em todas as amostras do equilíbrio, que pode ser explicado pela impregnação da sacarose no material.

4.4.1 Coeficiente de difusão efetivo

Os valores da difusividade efetiva (Def) foram obtidos pela aplicação da teoria de difusão de Fick que descreve a secagem no período de taxa decrescente, utilizando geometria de placa infinita. Os ajustes dos dados experimentais foram obtidos por meio de regressão não linear, com o auxílio do software ORIGIN 6.0.

As curvas da umidade se ajustou melhor ao modelo, apresentando coeficientes de determinação (R^2), superiores a 0,95. Na difusividade da sacarose os valores resultaram na ordem de $-11 \text{ m}^2/\text{s}$ e o da água de -10 e $-11 \text{ m}^2/\text{s}$, como mostra a Tabela 14. As Figuras 27 e 28 mostram respectivamente as curvas ajustadas pelo modelo de Fick.

Tabela 14. Valores do coeficiente de difusão da água e da sacarose de abacate fresco e branqueado.

Amostras	Difusividade água (m^2/s)	R^2	Difusividade sacarose (m^2/s)	R^2
Sac	$5,7 \times 10^{-11}$	0,954	$3,7 \times 10^{-11}$	0,842
Sac + 1% AC	$1,1 \times 10^{-10}$	0,976	$4,2 \times 10^{-11}$	0,841
Sac + 2% AC	$1,1 \times 10^{-10}$	0,978	$7,3 \times 10^{-11}$	0,951

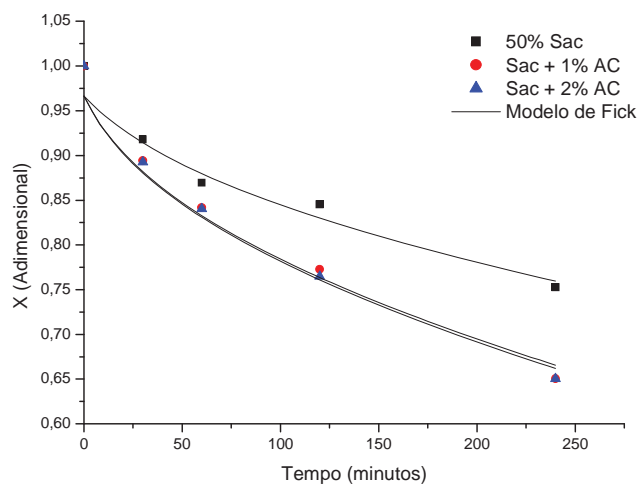


Figura 27. Difusividade da água com o tempo para os diferentes tratamentos osmóticos.

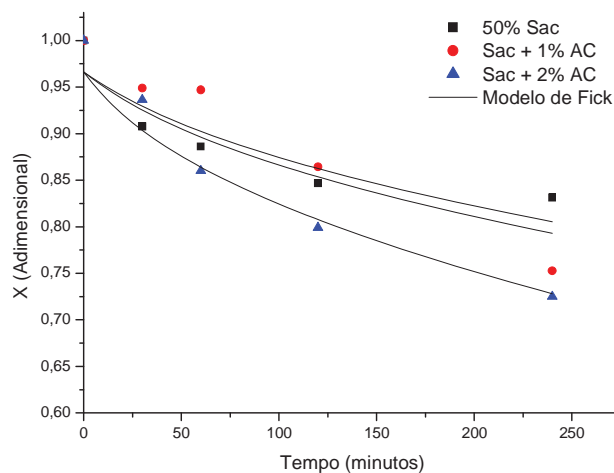


Figura 28. Difusividade da sacarose com o tempo para os diferentes tratamentos osmóticos.

Observa-se pelas curvas que a elevação da concentração de ácido cítrico à solução osmótica influenciou positivamente a redução da umidade e também ao ganho de sólidos ao material, pois se observa aumento considerável da difusão, principalmente em relação à difusão da água.

Os valores de difusividade encontrados estão dentro da faixa reportada na literatura para diferentes tipos de frutas e vegetais. Lazarides e Mavroudis (1996) calcularam coeficientes na faixa de $0,88$ a $2,14 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para batatas desidratadas osmoticamente e Rodrigues e Mauro (2004) determinaram coeficientes difusivos de $0,779 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ quando estudaram a DO de maçã Gala.

4.5 AVALIAÇÃO DA COR

Para avaliação da cor das amostras *in natura*, osmoticamente desidratadas e submetidas à secagem convectiva, foram utilizados os parâmetros L^* (luminosidade), a^* e b^* (cromaticidade), ΔE (diferença média de cor entre a fruta fresca e a processada), C^* (croma) e H^* (ângulo hue).

Na Tabela 15 são apresentados os valores dos parâmetros de cor para abacate fresco e desidratado osmoticamente.

Tabela 15. Valores médios dos parâmetros de cor em amostras frescas e desidratadas osmoticamente.

Solução	Amostra	L* ^{ns}	a* ^{ns}	b*	ΔE	C	H ^{ns}
1% AC	Fresca	71,365±3,910	-3,295±2,539	49,243±0,534 ^a	0 ^a	49,386±0,363 ^a	93,827±0,052
	DO 0,5h	75,678±6,000	-0,294±1,140	58,230±8,206 ^{ab}	11,223±10,201 ^b	58,267±8,157 ^{bc}	0,344±2,201
	DO 1,0h	72,949±1,260	0,434±2,632	59,154±6,175 ^{ab}	10,775±6,445 ^{bc}	59,184±6,191 ^{bc}	179,714±2,177
	DO 2,0h	69,554±2,056	0,9788±1,207	56,659±0,928 ^{ab}	7,665±1,499 ^{bc}	56,673±0,949 ^{bc}	89,038±0,021
	DO 4,0h	70,109±1,264	1,8125±1,131	61,049±3,60 ^b	12,008±3,898 ^c	61,080±3,633 ^c	88,350±0,017
2% AC	Fresca	71,365±3,910	-3,295±2,539	49,243±0,534 ^a	0 ^a	49,386±0,363 ^a	93,827±0,052
	DO 0,5h	74,111±8,346	-1,019±1,568	58,185±7,053 ^{ab}	12,113±5,941 ^b	58,206±7,023 ^{bc}	1,106±2,192
	DO 1,0h	73,555±0,838	-0,408±2,008	59,239±7,020 ^{ab}	11,466±7,129 ^{bc}	59,258±7,004 ^{bc}	0,510±2,186
	DO 2,0h	73,156±7,607	0,463±0,467	52,058±2,934 ^{ab}	8,678±0,073 ^{bc}	52,061±2,930 ^{bc}	89,473±0,009
	DO 4,0h	69,290±0,3005	1,183±2,0612	55,204±2,3211 ^b	10,185±2,857 ^c	55,235±2,364 ^c	178,797±2,185
SAC	Fresca	77,610	1,770	47,638 ^a	0 ^a	47,670 ^a	87,892
	DO 0,5h	74,260	2,505	52,320 ^{ab}	5,804 ^b	52,380 ^{bc}	87,261
	DO 1,0h	74,533	1,658	50,430 ^{ab}	4,157 ^{bc}	50,457 ^{bc}	88,121
	DO 2,0h	69,510	1,670	51,360 ^{ab}	8,915 ^{bc}	51,387 ^{bc}	88,121
	DO 4,0h	75,010	0,288	48,275 ^b	3,060 ^c	48,276 ^c	89,668

*Mesma letra na coluna não difere entre si, ao nível de 5% de probabilidade, por meio do teste de Tukey; ns=não significativo

Observa-se pela Tabela 15, que os valores de L* foram próximos ao da fruta *in natura*, demonstrando que a solução desidratante preveniu o escurecimento nas amostras, pois as mesmas mantiveram sua cor próxima ao produto fresco. Os valores de C encontrados mostram que as amostras mantidas em solução de sacarose sem ácido cítrico em relação às amostras tratadas com ácido cítrico, apresentaram pouca variação de intensidade do croma (a* e b*), ou seja, ambas as soluções osmóticas foram eficazes na prevenção da alteração de cor nos frutos.

Ensaio qualitativos realizados com frutos de abacate osmoticamente desidratados em soluções de sacarose com ácido cítrico e posteriormente, secos com ar aquecido a 70°C, promoveram a retenção da cor natural deste produto. Conclui-se então que a adição de ácido cítrico junto à solução osmótica de sacarose foi eficiente, pois reteve o desencadeamento do escurecimento enzimático nas amostras durante a secagem.

Secagem convectiva também foi aplicada a abacates frescos e branqueados termicamente. Neste caso os ensaios foram quantitativos e os valores dos parâmetros de cor são apresentados na Tabela 16, para secagem convectiva à temperatura de 50, 60 e 70°C.

Tabela 16. Valores dos parâmetros de cor em amostras frescas e secas convectivamente.

Amostra	T°C	L ^{ns}	a ^{ns}	b ^{ns}	ΔE ^{ns}	C ^{ns}	H ^{ns}
Fresca	-	67,083±0,705	-3,808±0,547	48,703±0,387	-	48,851	94,457
	50	40,035±0,165	5,383±0,142	32,608±0,271	32,788	33,049	80,615
	60	57,038±0,720	2,640±0,070	47,348±0,364	12,013	47,421	86,803
	70	58,615±0,585	4,330±0,058	48,423±0,358	11,747	48,616	84,912
Branqueada	-	64,205±0,466	-1,925±0,523	54,355±0,284	-	54,389	92,051
	50	46,815±0,197	2,610±0,441	44,843±0,424	20,334	44,918	86,689
	60	46,163±0,160	2,275±0,320	43,763±0,233	21,339	43,822	87,032
	70	35,193±0,188	4,835±0,199	30,323±0,277	38,275	30,706	80,959

Após a secagem convectiva observa-se que os valores da luminosidade (L*) em relação às amostras frescas foram em ambos os tratamentos inferiores à fruta fresca como mostra a Tabela 16. A redução da luminosidade deve-se ao escurecimento enzimático ocorrido durante o processo de secagem. Nota-se também que nas amostras branqueadas esse valor de L* foi inferior ao das amostras frescas, mostrando que o tratamento térmico antes da secagem, com a finalidade de inativar as enzimas termoresistentes presentes no abacate, não foi suficientemente capaz de impedir que essas amostras apresentassem uma coloração acentuadamente escura.

O parâmetro a^* e b^* das amostras mostram diminuição da cromaticidade, principalmente nas amostras branqueadas, em que o escurecimento foi maior, pois quando o valor de a^* é negativo, a coloração é verde, porém quando esse valor é positivo e próximo de zero, maior é a intensidade do vermelho. Pelos resultados de H , observa-se que a tonalidade das amostras passou de verde-amarelado para amarelo-avermelhado após a secagem.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho pode-se concluir que:

- as isothermas de dessecção do abacate fresco e branqueado da variedade Fortuna são do tipo III ou estão entre o tipo II e o III (levemente sigmoidal);
- o modelo de GAB, com três parâmetros, e o de Peleg, com quatro, foram os que melhor descreveram as isothermas;
- a umidade de equilíbrio de abacate fresco e branqueado decresceu com o aumento da temperatura, para um mesmo valor de umidade relativa;
- houve uma diferença considerável entre a umidade de equilíbrio das amostras frescas e branqueadas para uma mesma temperatura;
- a influência da temperatura foi baixa sobre as isothermas de abacate fresco, assim como de abacate branqueado;
- o calor isostérico líquido de sorção e a entropia de sorção aumentaram com a diminuição do conteúdo de umidade;
- a secagem convectiva foi eficaz quanto à redução do conteúdo de umidade das amostras;
- nas temperaturas de secagem estudadas, a de 70°C foi considerada a mais eficiente na secagem da polpa de abacate, pois apresentou a maior taxa de secagem. Entretanto, a 60°C a eficiência de secagem foi próxima à obtida a 70°C;
- os valores médios de difusividade efetiva na secagem a 50, 60 e 70°C resultaram em valores entre $6,1 \times 10^{-10}$ a $1,1 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para as amostras frescas e entre $6,8 \times 10^{-10}$ e $1,1 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para as amostras branqueadas;
- na secagem convectiva verificou-se, pela análise da cor, maior escurecimento com o aumento da temperatura e que o branqueamento térmico não exerceu efeito protetor sobre o escurecimento;
- os pré tratamentos osmóticos em soluções de sacarose 50% com 1% e 2% de ácido cítrico apresentaram maior perda de água, ganho de sólidos e variação de massa;

- a adição de ácido cítrico na solução osmótica de sacarose, influenciou positivamente a taxa de difusão, principalmente em relação à difusão da água;
- a eficiência de processo foi melhor no tratamento osmótico em solução de ácido cítrico 1%, pois houve maior perda de água e menor ganho de sólido.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- realizar a análise sensorial e teste de vida de prateleira do produto desidratado osmoticamente;
- estudar o desenvolvimento do amargor com a elevação da temperatura;
- estudar o rendimento da extração do óleo na variedade Fortuna;
- avaliar a estabilidade do óleo nas etapas do processo de refino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. Enthalpy-entropy compensation in sorption phenomena: Application to the prediction of the effect of temperature on food isotherms. **Journal of Food Science**, v. 51, p. 1547-1549, 1986.

AHMED, E. M.; BARMORE, C. R. Avocado. In: NAGY, S.; SHAW, P.E.; WARDOWSKI, W.F. (Ed.) **Fruits of tropical and subtropical origin: composition, properties and uses**. Lake Alfred: AVI Publishing, p. 121-156, 1990.

ALLALI, H.; MARCHAL, L.; VOROBIEV, E. Effects of vacuum impregnation and ohmic heating with citric acid on the behaviour of osmotic dehydration and structural changes of apple fruit. **Biosystems engineering**, v. 106, n. 1, p. 6-13, 2010.

Al-MUHTASEB, A.H.; McMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. Water sorption isotherms of starch powders Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, v.61, p. 297-307, 2004.

ANDRADE, S. A. C.; METRI, J. C.; BARROS NETO, B. de; GUERRA, N. B. Desidratação osmótica do jenipapo (*Genipa americana* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 276-281, 2003.

ANTONIO, G. C., AZOUBEL, P. M., MURR, F. E. X., PARK, K. J. Osmotic dehydration of sweet potato (*Ipomoea batatas*) in ternary solutions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 696-701, 2008.

ARÉVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X. Influência da pressão, temperatura e pré-tratamentos na secagem a vácuo de cenoura e abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 636-643, 2005.

ARSLAN, N.; TOGRUL, H. Modelling of water sorption isotherms of macaroni stored in a chamber under controlled humidity and thermodynamic approach. **Journal of Food Engineering**, v. 69, p. 133-145, 2005.

AVIARA, N. A.; AJIBOLA, O. O.; DAIRO, U. O. Thermodynamics of moisture sorption in sesame seed. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 83, n. 4, p. 423-431, 2002.

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

AZUARA, E.; CORTÉS, R.; GARCIA, H. S.; SILYSTROM, M. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 27, p. 409-418, 1992.

AZUARA, E.; BERISTAIN, C. I. Enthalpic and entropic mechanisms related to watersorption of yogurt, **Drying Technol.**, v. 24, n. 11, p. 1501–1507, 2006.

BAILEY, A. E. In: **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**, 5th ed., John Wiley: New York, vol. 3, 1996.

BATES, R. P. Heat-induced off-flavor in avocado flesh. **Journal of Food Science**. v. 35, n. 4, p. 478-482, 1970.

BELITZ, H. D.; GROSH, W. **Food chemistry**. 2ed. Berlin: Springer Verlag, 1999, p. 215-223; 693-715.

BEN-ET, G.; DOLEV, A.; TATARSK, D. Compounds contributing to heat-induced bitter off-flavor in avocado. **Journal of Food Science**. v. 38, p. 546-547, 1973.

BERISTAIN, C. I.; AZUARA, E.; CORTÉS, R.; GARCIA, H. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 25, p. 576-582, 1990.

BERISTAIN, C. I.; AZUARA, E. Maximal stability of dried products. **Ciencia (México)**, v. 41, p. 229–236, 1990.

BERISTAIN, C. I.; DIAZ, R.; GARCIA, H. S.; AZUARA, E. Thermodynamic behavior of green whole and decaffeinated coffee beans during adsorption, **Drying Technology**, v. 12, p. 1221–1233, 1994.

BERSET, C.; CUVELIER, M. E. “Méthodes d'évaluation du degré d'oxydation des lipids et de mesure du pouvoir antioxydant”, **Sciences des Aliments**, v. 16, n. 3, p. 219-245, 1996.

BLEINROTH, E. W.; CASTRO, J. V. de. Matéria-prima. In: **ABACATE – cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. 2ª Ed. Campinas: ITAL, 1992. p. 58- 147.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American Chemical Society**, v.60, n.2, p. 309-319, 1938.

CALVO, C.; DURÁN, L. Propiedades Físicas II – Ópticas y Color. In:122 CITED-Instituto Politécnico Nacional. **Temas en Tecnología de Alimentos**. Mexico, Ed: José Miguel Aguilera, v.1, p261-288, 1997.

CANTO, W. L.; SANTOS, L. C.; TRAVAGLINI, M. M. E. **Óleo de abacate**: extração, usos e seus mercados atuais no Brasil e na Europa. Estudos Econômicos. Campinas: ITAL, 1980. 144p. (Alimentos Processados, 11).

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1999.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51p.

CHENLO, F.; MOREIRA, R.; 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. p. 347- 352. 2002.

CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H.A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods: part 1. a review. **Journal of Food Technology**, v. 13, p. 159-174, 1978.

CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion.**, Oxford, UK: Clarendon Press, 1975.

DAMODARAN, S., PARKIN, K. L., FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 900p.

DONADIO, L. C. **Abacate para exportação**: aspectos técnicos da produção. Brasília, DF: DENACOOOP, 1995. 53 p. (Série de publicações técnicas da FRUPEX).

DOMINGUEZ, I. L.; AZUARA, E.; VERNON-CARTER, E.J.; BERISTAIN, C. I. Thermodynamic analysis of the effect of water activity on the stability of macadamia nut, **Journal of Food Engineering**. v. 81. p. 566–571, 2007.

EL-AOUAR, Â. A.; MURR, F. E. X. Estudo e modelagem da cinética de desidratação osmótica do mamão formosa (*Carica papaya* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 69-75, 2003.

EL-AOUAR, Â. A., AZOUBEL, P. M., BARBOSA JR, 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.

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, p. 979-985, 2007.

FAO – **Medium-term Projections for World Supply and Demand to 2010 for Tropical Fruits**. Intergovernmental Group on Banana and on Tropical Fruits. Spain, december, 2003. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 16 de jun. 2010.

FORNI, E.; SORMANI, A.; SCALISE, S.; TORREGGIANI, D. The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate apricots. **Food Research International**, v. 30, n. 2, p. 87-94, 1997.

GIANGIACOMO, R.; TORREGGIANI, D.; ERBA, M. L.; MESSINA, G. Use of osmodehydrofrozen fruit cubes in yogurt. **Italian Journal of Food Science**, v. 3, n. 6, p. 345-350, 1994.

GREESPAN, L., "Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions", T. **Journal of Research of the National Bureau of Standards**, v. 81, n. 1, p. 86-96, 1977

GUNSTONE, F. D.; NORRIS, F. A. **Lipids in foods chemistry, biochemistry and technology**. Oxford, Pergamon Press, 1983, p. 1-14.

HAMILTON, R. J.; ROSSELL, J. B.; HUDSON, B. J. F.; LÖLIGER, J.; *In: Rancidity in Foods*; ALLEN J. C., HAMILTON R. J. London: Applied Science Publishers LTD, 1983, p. 1.

HENG, K.; GUIBERT, S.; CUQ, J. L. Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality. **Sciences des Aliments**, v. 10, p. 831-848, 1990.

HENRY, C. J. K.; HEPPELL, N. Nutritional losses and gains during processing: future problems and issues. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 61, n. 1, p. 145-148, 2002.

HENRY, C. J. K.; MASSEY, D. Crop Post-Harvest Programme. Food Science and Nutrition Research Group. School of Biological and Molecular Sciences **Micronutrient changes during food processing and storage**. Oxford: Oxford Brookes University, 2001. Disponível em: <http://www.cphp.uk.com/downloads/issue_paper_5.Pdf >. Acesso em: 02 mar. 2010.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 15 de jun. 2010.

IGLESIAS, H.A.; CHIRIFE, J. Handbook of Food Isotherms: **Water Sorption Parameters for Food and Food Components**. New York: Academic Press, 1982.

ISPIR, A., TOGRUL, I. T. Osmotic dehydration of apricot: Kinetic and the effect of process parameters. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 87, p. 166-180, 2009.

JALILA, V. R. R.; NARAIN, N.; SILVA, G. F. Effect of osmotic rehydration on drying characteristics of bananas fruits. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 269-273, 2008.

JOWITT, R.; ESCHER, F.; HOLLSTOM, H.F.T.; MEFFERT, W.E.L.; SPIESS, **Physical properties of foods: COST 90**. London: Elsevier, 1987.

KARATHANOS, V.T. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 39, p. 337-344, 1999.

KAYA, S.; KAHYAOGU, T. Thermodynamic properties and sorption equilibrium of pestil (grape leather). **Journal of Food Engineering**, v. 71, n. 02, p. 200-207, 2005.

KECHAOU, N.; MAALEJ, M. Desorption isotherms of imported banana. **Drying Technology**, v.17, n.6, p.1201-1213, 1999.

KIRANOUDIS, C. T.; MAROULIS, Z. B.; TSAMI, E.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some fruits. **Drying Technology**, v. 15, n. 5, p. 1399-1418, 1997.

KOLLER, O. C. **Abacaticultura**. Porto Alegre: UFRGS, 1984.138p.

KOMPANY, E.; ALLAF, K.; BOUVIER, J.M.; GUIGON, P.; MAUREAUX, A. Nouveau procédé de déshydratation des fruits et légumes à réhydratation instantanée. **Industries Alimentaires et Agricoles**, p. 1243-1248, 1990.

KOWALSKA, H.; LENART, A. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 137-140, 2001.

LABUZA, T.P. The properties of water in relationship to water biging. *In food: a review*. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.1, n.2, p.167-190, 1977.

LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods.; **Food Technology**, v.22, n.3, p.263-272, 1986.

LAZARIDES, H. N.; MAVROUDIS, N. E. Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetable tissue in a salt-free medium. **Journal of Food Engineering**, v.30, p. 61-74, 1996.

LEITE, J. B.; MANCINI, M. C.; BORGES, S. V. Effect of drying temperature on the quality of dried bananas cv. prata and d'água. **Lebensmittel Wissenschaft and Technology**, v. 40, n. 2, p. 319-323, 2007.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v.14, p.391-413, 1996.

LEWICKI, P. P.; LUKASZUK, A. Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying. **Journal of Food Engineering**, v. 45, n. 3, p. 119-126, 2000.

LEWICKI, P. P.; PAWLAK, G. Effect of drying on microstructure of plant tissue. **Drying Technology**, v. 21, n. 4, p. 657-683, 2003.

LEWICKI, P. P.; PORZECKA-PAWLAK, R. Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. **Journal of Food Engineering**, v.66, p. 43-50, 2005.

LINDLEY, M. G. "The impact of food processing on antioxidants in vegetable oils, fruits and vegetables". **Food Science and Technology**, v. 9, p. 336-340, 1998.

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.111-117, 1985.

LOPES, L. M. Cinética da desidratção osmótica de abacate fresco e branqueado termicamente. **VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química – Iniciação Científica Energias Sustentáveis e Matriz Energética Brasileira**. Uberlândia, MG, p.1-7, 2009.

LOVE, J. "Factors affectinh lipid oxidation". *In*: MIN, D. B.; SMOUSE, T.H. (ed). **Flavor chemistry os fats and oils**. Champaign: AOCS, 1985, p. 61-78.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K.A. Enthalpy-Entropy Compensation Models for Sorption and Browning of Garlic. **Journal of Food Engineering**, v. 28, n. 2, 109-119, 1996.

MALTINI, E.; TORREGGIANI, D.; BROVETTO, B. R.; G. Bertolo. Functional properties of reduced moisture fruits as ingredients in food systems. **Food Research International**, v. 26, n. 6, p. 413-419, 1993.

MAYOR, L., CUNHA, R. L., SERENO, A. M. Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin. **Food Research International**, v. 40, p. 448-460, 2007.

MAZZA, G. Dehydration of carrots: Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. **Journal of Food Technology**, v. 18, p. 113-123, 1983.

MENEZES, M. L.; LOPES, L. F. S.; PASSARETTI FILHO, J. Síntese de biodiesel empregando óleo de abacate. **Analytica**, v. 8, p. 68-78, 2010.

McMINN, W.A.M.; AL-MUHTASEB, A. .H.; T.R.A. MAGEE. Moisture sorption characteristics of starch gels. Part II: Thermodynamic Properties. **Journal of Food Process Engineering**, v. 27, p. 213-227, 2004.

MOLINA FILHO, L.; GONÇALVES, A. K. R.; MAURO, M. A.; FRASCARELI, E. C. Moisture sorption isotherms of fresh and blanched pumpkin (*Cucurbita moschata*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 3, p. 714-722, 2011.

MOREIRA, R.; SERENO, A. M. Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 57, n. 1, p. 25-31, 2003.

MYHARA, R. M.; TAYLOR, M. S.; SLOMIN, B. A.; AL-BULUSHI, I. Moisture Sorption Isotherms and Chemical Composition Omani Dates. **Journal of Food Engineering**, v. 37, p. 471-479, 1998.

NAVEH, E.; WERMAN, M.J.; SABO, E.; NEEMAN, I. Defatted avocado pulp reduces body weight and total hepatic fat but increases plasma cholesterol in male rats fed diets with cholesterol. **Journal of Nutrition**, Haifa, v.132, p.2015-2018, 2002.

NAWAR, W. W. "Lipidis". *In*: FENNEMA, O. R. (ed). **Food Chemistry**. 2 ed. Nova York: Marcel Dekker, 1985. p. 139-151.

NICOLETI, J. F; TELIS-ROMERO, R.; TELIS, V. R. N. Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: fixed air temperature versus fixed slices temperature drying kinetics. **Drying Technology**, v. 19, n. 9, p. 2175-2191, 2001.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. São Paulo: Manole, 2006, 612p.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A. de ; PARK, K. J. B. **Conceitos e processo e equipamentos de secagem**, p. 50, 2007. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html>>. Acesso em: 22 set. 2012.

PENA, R. S; RIBEIRO, C. C; GRANDI, J. G. Aplicação de modelos matemático bi e tri-paramétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupuna*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 20, n. 1, p. 8-11, 2000.

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N. P. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**, v. 1, Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3ª ed., São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985.

QUEIROZ, M. R.; NEBRA, S. A. Theoretical and experimental analysis of drying kinetics of bananas. **Journal of Food Engineering**, v. 47, n. 2, p. 127-132, 2001.

RAOULT-WACK, A. L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, n. 8, p. 255-260, 1994.

REBOLLO, A. J.G.; BOTEJA, E, M.; CANSADO, A. O.; BLANCO, P.J.M.; BELLIDO, M.M.; SÁNCHEZ, A.F.; ARIAS, P.M; ALVAREZ, J.E.C. Effects of consumption of meat product rich in monounsaturated fatty acids (the ham from the Iberian pig) on plasma lipids. **Nutrition Research**, Tarrytown, v.18, p. 743-750, 1998.

RODRIGUES, A. E.; MAURO, M. A. Water and sucrose diffusion coefficients in apple during osmotic dehydration. In: **14th International Drying Symposium (IDS 2004)** – Proceedings of the 14th International Drying Symposium, São Paulo, v. C, p. 2097-2104, 2004.

SÁ, M. M.; SERENO, A. M. Effect of temperature on sorption isotherms and heats of sorption of quince jam. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 28, n. 3, p. 241-248, 1993.

SALGADO, J. M.; BIN, C.; MANSI, D. N.; SOUZA, A. Efeito do abacate (*Persea americana* Mill) variedade hass na lipidemia de ratos hipercolesterolêmicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, v.28, n. 4, p. 922-928, 2008.

SANTOS, L. C. **Estudo sobre refinação do óleo de abacate de variedade (Persea americana Mill.) Wagner**. 1985. 65f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

SHARMA, S. K.; MULVANEY, S. J.; RIZVI, S. H. **Food process engineering: theory and laboratory experiments**. New York: John Wiley & Sons, 2000, 348p.

SOARES, S.E.; MANCINI FILHO, J.; TURATTI, J. M.; TANGO, J. S. Caracterização física, química e avaliação da estabilidade do óleo de abacate (*Persea americana, Mill.*) nas diferentes etapas do processo de refinação. **Revista de farmácia e bioquímica da Universidade de São Paulo**, v. 27, n. 1, p. 70-82, 1991.

SOARES, S. E.; MANCINI FILHO, J.; DELLA MODESTA, R. C. Sensory detection limits of avocado oil in mixtures with olive oil. **Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, v. 32, n. 5, p. 509-516, 1992.

SOUZA, P. H. M.; MAIA, G. A.; FILHO, M. S. M. S.; FIGUEIREDO, R. W.; NASSU, R. T.; NETO, M. A. S. Influência da concentração e da proporção fruto:xarope na desidratação osmótica de bananas processadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 126-130, dez. 2003.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: principles, applications and design**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986.

SWERN, D. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**, New York, John Wiley, 1964, p. 3-64.

TAIZ L., ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: ARTMED, 2009, 819 p.

TANGO, J. S.; COSTA, S. I.; ANTUNES, A. J.; FIGUEIREDO, I. B. Composition du fruit et de l'huile de différentes variétés d'avocats cultivés dans l'Etat de São Paulo, **Fruits**, Paris, v. 27, p. 143-146, 1972.

TANGO, J. S.; CARVALHO, C. R.; LIMONTA, S. N. B. Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 17-23, 2004.

TEIXEIRA, C. G.; BLEINROTH, E. W.; CASTRO, J. V.; MARTIN, Z. J.; TANGO, J. S.; TURATTI, J. M.; GARCIA, A. E. B. **ABACATE: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos**. 2^a. ed. Série Frutas Tropicais n° 8, ITAL, Campinas, 1992. 250p.

TOGRUL, T. I.; PEHLIVAN, D. Modelling of drying of single apricot. **Journal of Food Engineering**. v.58, p.23-32, 2003.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v. 26, p. 59-68, 1993.

TREYBALL, R.B. **Drying. Mass Transfer Operations**. New York: McGraw-Hill, 1968, p. 569-575.

TURATTI, J. M.; GOMES, R.A.R.; ATHIÉ, I. **Lipídeos: aspectos funcionais e novas tendências**. Campinas: ITAL, 2002, 78p.

UNLU N.Z.; BOHN T.; CLINTON S.K.; SCHWARTZ S.J. Carotenoid absorption from salad and salsa by humans is enhanced by the addition of avocado or avocado oil. **The Journal of Nutrition**, Philadelphia, Mar; n.135, p.431-436, 2005.

USDA. **Tabela de composição química dos alimentos**, United States Department of Agriculture (USDA) Nutrient Database for Standard Reference - SR14, 2001.

WEEMAES, C.; LUDIKHUYZE, L.; BROECK, I. VAN DEN & HENDRICKX, M. High Pressure Inactivation of Polyphenoloxidases. **Journal of Food Science**, v. 63, n.5, p.873-877, 1998.

WERMA, M. J.; NEEMAN, I. Oxidative stability of avocado oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 63, n. 3, p. 355-360, 1986.

Autorizo a reprodução xerográfica para fins de pesquisa.

São José do Rio Preto, ____/____/____

Assinatura