



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

Luzimary de Jesus Ferreira Godinho Rocha

**ESTUDO DA SECAGEM DO KIWI COM PRÉ-TRATAMENTO
OSMÓTICO E SEU EFEITO NO TEOR DE MACRO E
MICRONUTRIENTES DO FRUTO**

São José do Rio Preto, SP
2017

Luzimary de Jesus Ferreira Godinho Rocha

**Estudo da secagem do kiwi com pré-tratamento osmótico e seu efeito
no teor de macro e micronutrientes do fruto**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de Engenharia 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”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco Lopes Filho
Coorientadores: Profa. Dra. Natilene Mesquita Brito
Prof. Dr. Javier Telis Romero

São José do Rio Preto, SP
2017

Rocha, Luzimary de Jesus Ferreira Godinho.

Estudo da secagem do kiwi com pré-tratamento osmótico e seu efeito no teor de macro e micronutrientes do fruto / Luzimary de Jesus Ferreira Godinho Rocha. -- São José do Rio Preto, 2017

105 f. : il., tabs.

Orientador: José Francisco Lopes Filho

Coorientador: Natilene Mesquita Brito

Coorientador: Javier Telis Romero

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Alimentos – Desidratação. 3. Kiwi.
4. Frutas - Secagem. 5. Tecnologia de alimentos – Modelos matemáticos.
6. Minerais. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. II. Título.

CDU – 664.028.4

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE
UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto

Luzimary de Jesus Ferreira Godinho Rocha

Estudo da secagem do kiwi com pré-tratamento osmótico e seu efeito no teor de macro e micronutrientes do fruto

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de Engenharia 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”, Câmpus de São José do Rio Preto.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Francisco Lopes Filho
Orientador – DETA/IBILCE

Prof. Dr. José Antonio Gomes Vieira
DETA/ IBILCE

Prof. Dr. Harvey Alexander Villa Vélez
UFMA/ CCET

Prof^a. Dra. Vânia Nicoletti Telis
DETA/ IBILCE

Prof^a. Dra. Maria Angélica Marques Pedro
UNILAGO/SP

São José do Rio Preto, SP
30 de março de 2017

Dedico este trabalho,

À minha família, pelo incentivo, amor e carinho, sempre concedidos sem medida.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus Criador, agradeço por tudo.

À minha família, alicerce firme e amor incondicional nas lutas diárias e alegrias cotidianas.

Ao meu esposo Hermenegildo e meu filho Lucas pelo amor e paciência durante todo este trabalho, pedaços de mim nesta vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco pelos ensinamentos de vida e acadêmico durante a realização desta tese.

Aos amigos Gilda Maira, Vânia Mondego e Antonia Nilda que durante a minha caminhada acadêmica sempre me incentivaram a ser uma profissional melhor.

Aos colegas do Doutorado Interinstitucional do IFMA: Álvaro Schalcher, Flávia Cutrim, Maron Stanley, Rachel Torquato, Ocilene Ferreira, Valdênia Mendonça, Adeval Neto, Pedro Pessoa, Manoel Filho, Francisco José, Liane Caroline, Franklin Rosemito, Luzilene Rosas e Marcelo Vieira, cúmplices das risadas, medos e alegrias.

Aos colegas da UNESP-Câmpus de São José do Rio Preto-SP, pelo apoio durante as realizações das análises: Ginaldo, Jesuíno, Luiz, Ezequiel e Gisandro.

“Todo aquele que se dedica ao estudo da Ciência chega a convencer-se de que nas leis do Universo se manifesta um Espírito sumamente superior ao do homem, e perante o qual nós, com os nossos poderes limitados, devemos humilhar - nos.”

(Albert Einstein, c2005-17)

RESUMO

O armazenamento de alimentos envolve etapas que variam das mais simples às mais complexas. Dentre elas, destaca-se a desidratação osmótica e secagem convectiva, garantindo a manutenção dos nutrientes a um baixo custo. Na etapa de desidratação osmótica, ocorre adição de solutos que indisponibilizam parte da água do alimento reduzindo atividade biológica e algumas reações mantendo estrutura desejável do produto. Na secagem convectiva reduz-se a atividade da água no produto. O consumo de frutas exóticas no Brasil cresceu muito nos últimos anos, despertando o interesse de grandes empresas e agências de pesquisas. O kiwi está entre essas frutas apresentando paladar agradável ao consumidor brasileiro, que têm demonstrado grande interesse nesse fruto. Já existe no país, lugares de cultivo com grandes chances de boas colheitas. Os objetivos do presente estudo foram a obtenção de parâmetros da cinética de secagem, a modelagem matemática e a determinação de características físico-químicas e do efeito do processo no teor de macro e micronutrientes do fruto para efeito de preparo do kiwi desidratado com possibilidade de comercialização. São apresentados resultados de experimentos de secagem do kiwi descascado e fatiado com espessura de cerca de 7 mm, pré-tratado em solução osmótica de sacarose e seco em um secador de leito fixo. Os testes foram feitos em quatro temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C com $\pm 3^\circ\text{C}$ e velocidade do ar de $2,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Os modelos empíricos de Page, Page Modificado, Peleg, Henderson-Pabis, Henderson-Pabis modificado, Newton e o modelo teórico difusivo foram empregados na modelagem das cinéticas de secagem. Na análise gráfica foi encontrado um período de taxa decrescente durante a secagem. Todos os modelos apresentaram bons ajustes aos dados de umidade versus tempo de secagem. Através da técnica de Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente, determinaram-se os teores dos seguintes minerais com as amostras de kiwi antes e após a desidratação osmótica: alumínio, cálcio, cobre, fósforo, manganês, magnésio, potássio, sódio e zinco, observando-se o aumento da concentração de fósforo, magnésio e potássio com pré-tratamento osmótico.

Palavras-chave: Kiwi. Secagem. Modelos matemáticos. Minerais.

ABSTRACT

Food storage involves steps that range from the simplest to the most complex. Among them, the osmotic dehydration and convective drying stand out, guaranteeing the maintenance of the nutrients at a low cost. In the stage of osmotic dehydration, there is addition of solutes that unavailable part of the water of the food reducing biological activity and some reactions maintaining a desirable structure of the product. Convective drying reduces the water activity in the product. The consumption of exotic fruits in Brazil has grown a lot in the last years, arousing the interest of big companies and research agencies. The kiwifruit is among these fruits presenting pleasant taste to the Brazilian consumer, who have shown great interest in this fruit. There already exists in the country, places of cultivation with great chances of good harvests. The objectives of the present study were to obtain parameters of drying kinetics, mathematical modeling and the determination of physico-chemical characteristics and the effect of the process on the macro and micronutrients content of the fruit for the purpose of preparing the dehydrated kiwi with the possibility of commercialization. Results of drying experiments of the peeled and sliced kiwifruit are presented with thickness of about 7 mm, pretreated in sucrose osmotic solution and dried in a fixed bed drier. The tests were done at four temperatures of 40°C, 50°C, 60°C and 70°C with $\pm 3^\circ\text{C}$ and air velocity of $2.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. The empirical models of Page, Page Modified, Peleg, Henderson-Pabis, Henderson-Pabis modified, Newton and the theoretical diffusive model were used in the modeling of drying kinetics. In the graphical analysis was found a period of decreasing rate during the drying. All models presented good adjustments to the moisture data versus drying time. The levels of the following minerals by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry were determined with kiwifruit samples before and after osmotic dehydration: aluminum, calcium, copper, iron, phosphorus, manganese, magnesium, potassium, sodium and zinc, observing increased phosphorus, magnesium and potassium concentration with osmotic pretreatment.

Keywords: Kiwifruit. Drying. Mathematical models. Minerals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aspecto geral do kiwi <i>in natura</i>	20
Figura 2 - Brasil por Regiões na Origem - Ranking dos 4 maiores estados produtores de kiwi.	21
Figura 3 - Esquema do processo de secagem de material sólido	30
Figura 4 - Influência da atividade da água na taxa de crescimento microbiano.....	34
Figura 5 - Tipos de isotermas descritas por Brunauer et al. (1940)	36
Figura 6 - Tendência das linhas do gráfico $\log a_w$ vs. $1/T$ para a predição da a_w	38
Figura 7 - Kiwi <i>in natura</i>	40
Figura 8 - Fluxograma do manuseio das amostras do kiwi antes e depois da desidratação osmótica.....	41
Figura 9 - Kiwis imersos em solução osmótica de 10% de sacarose	42
Figura 10 - Secador de leito fixo – imagem real	45
Figura 11 - Secador de leito fixo – esquema	46
Figura 12 - Medidas do kiwi <i>in natura</i>	52
Figura 13 - Isotermas de sorção das amostras de kiwi sem tratamento osmótico ajustadas pelo modelo de GAB.	54
Figura 14 - Isotermas de sorção das amostras de kiwi com tratamento osmótico ajustadas pelo modelo de GAB.	55
Figura 15 - Kiwis antes da secagem	59
Figura 16 - Kiwis antes e depois da secagem (sentido horário: a, b e c).....	59
Figura 17 - Teor de umidade em função do tempo de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose a 10% por 1h às temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.....	60
Figura 18 - Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Page nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.....	63
Figura 19 - Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Henderson e Pabis nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.....	64
Figura 20 - Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Newton nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.....	64
Figura 21 - Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo difusivo nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.....	65
Figura 22 - Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão, em função da temperatura do ar de secagem de kiwis com pré-tratamento osmótico nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C.	67

Figura 23 – Taxa de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%	68
Figura 24 - Calor isostérico (Q_{st}) de kiwi sem tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0kg.kg, b.s.....	70
Figura 25 - Calor isostérico (Q_{st}) de kiwi com tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0 kg.kg, b.s.....	71
Figura 26 - Entropia (ΔS) de sorção da água de kiwi sem tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0 kg.kg, b.s.	73
Figura 27 - Entropia (ΔS) de sorção da água de kiwi com tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0 kg.kg, b.s.	74
Figura 28 - Energia Livre de Gibbs (ΔG) de sorção da água de kiwi sem tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0 kg.kg, b.s	75
Figura 29 - Energia Livre de Gibbs (ΔG) de sorção da água de kiwi com tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0kg.kg, b.s	75
Figura A1 - Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Peleg modificado nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.....	104
Figura A2 - Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Page modificado nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.....	104
Figura A3 - Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Henderson-Pabis modificado nas temperaturas de 40°C,50°C, 60°C e 70°C.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição nutricional do kiwi <i>in natura</i>	20
Tabela 2 - Modelos matemáticos de regressão não linear, avaliados para prever a secagem do kiwi pré-tratado osmoticamente com solução de sacarose a 10%.....	44
Tabela 3 - Modelos matemáticos de regressão não linear, avaliados para prever a secagem do kiwi pré-tratado osmoticamente com solução de sacarose a 10%.....	47
Tabela 4 - Parâmetros dos modelos de isotermas e das análises estatísticas obtidos nos ajustes dos dados experimentais do kiwi com e sem tratamento osmótico.	53
Tabela 5 - Isotermas de sorção experimentais de kiwi com e sem tratamento osmótico.	57
Tabela 6 – Umidade relativa do ar, umidade de equilíbrio do kiwi segundo a equação descrita em CASTIGLIONI et al., 2013 (Equação 26)	57
Tabela 7 - Umidade de equilíbrio alcançada para cada temperatura de secagem.....	58
Tabela 8 – Teores de umidade do kiwi pré-tratado com solução de sacarose a 10% e seco com velocidade do ar de 2,1 m.s ⁻¹	58
Tabela 9 - Valores obtidos dos ajustes matemáticos	62
Tabela 10 – Valores da difusividade, R ² e erro médio relativo (MRE) das amostras de kiwi desidratadas osmoticamente.....	65
Tabela 11 - Relação exponencial do D _{eff} em função da temperatura.....	67
Tabela 12 -Valores da composição dos macro e micronutrientes do kiwi antes e após a desidratação osmótica.....	76
Tabela 13 - Teores de vitamina C encontrado nas amostras de kiwi antes e após a desidratação osmótica.....	77
Tabela 14 - Micronutrientes do kiwi <i>in natura</i> , após o tratamento osmótico e secagem	79

NOMENCLATURA

A, B, E, C Constantes dos modelos de Oswin, Halsey, Iglesias-Chirife, GAB, BET e Henderson.

a Constante dos modelos de Oswin, Henderson e Pabis, Henderson - Pabis Modificado e Page.

a, b, e, c Constantes dos modelos de Henderson e Pabis, Henderson e Pabis Modificado, Page e Page Modificado.

a_w Atividade de água.

D_{eff} Difusividade efetiva ($m^2 \cdot s^{-1}$).

\mathcal{C} Fator de Arrhenius ($m^2 \cdot s^{-1}$).

dX / dt Taxa de secagem ($kg \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$).

D Energia de ativação para difusão ($J \cdot mol^{-1}$).

G Calor de sorção da monocamada do modelo de GAB ($J \cdot mol^{-1}$).

H Calor de sorção da multicamada do modelo de GAB ($J \cdot mol^{-1}$).

K Constante do modelo de GAB.

k Constante de velocidade de secagem (s^{-1}, min^{-1}, h^{-1}) dos modelos de Page, Page Modificado, Henderson-Pabis Modificado.

k_1, k_2 Constante de velocidade de secagem do modelo de Peleg, s^{-1}, min^{-1}, s^{-1} .

m Espessura média do produto (m).

n Constante do modelo de Page e Page Modificado.

Q_{st} Calor isostérico de sorção, $J \cdot mol^{-1}$

q_{st} Calor líquido isostérico de sorção, $J \cdot mol^{-1}$

R Constante universal dos gases ($J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$)

R^2	Coeficiente de correlação
T	Temperatura, °C, Kelvin
UR	Umidade Relativa, %.
X	umidade de equilíbrio, Kg.Kg ⁻¹ , b.s
UR	Umidade Relativa, %.
H _m , H _n	Entalpias de sorção da monocamada e multicamada, KJ. mol ⁻¹ , respectivamente.
E _a	Energia de ativação, J/mol.
RMSE	Raiz quadrada do erro médio.
MRE	Erro médio relativo
n	Número de termos da série
D _o	Coeficiente de difusão limite, m ² .s ⁻¹
I.C	Intervalo de confiança

Símbolos gregos

E_a	Energia de vaporização da água pura, J·mol ⁻¹ .
ΔH_C	Entalpia da constante C no modelo de GAB, J·mol ⁻¹ , kJ·kg ⁻¹ .
ΔH_K	Entalpia da constante K no modelo de GAB, J·mol ⁻¹ , kJ·kg ⁻¹ .
ΔS	Entropia diferencial, J·mol ⁻¹ .
ΔG	Energia livre de Gibbs, J·mol ⁻¹ .

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	18
2.1 Geral	18
2.2 Específicos	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Origem e composição nutricional do kiwi	19
3.1.1 Produção do kiwi e seus derivados	21
3.2 Conservação do alimento por secagem e desidratação osmótica	22
3.3 Macros e micronutrientes no alimento	24
3.3.1 Cinzas.....	24
3.3.2 Macronutrientes	25
3.3.2.1 Umidade.....	25
3.3.2.2 Lipídeos	26
3.3.2.3 Proteínas.....	27
3.3.2.4 Carboidratos.....	27
3.4 Ação da Vitamina C	28
3.5 pH	29
3.6 Sólidos solúveis	29
3.7 Secagem	30
3.7.1 Conceito.....	30
3.7.2 Desidratação osmótica	32
3.7.3 Modelagem matemática e cinética de secagem	33
3.8 Atividade de água e isothermas	34
3.8.1 Conceito	34
3.9 Propriedades termodinâmicas	37
4 MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1 Matéria-prima e preparo das amostras.....	40
4.1.1 Manuseio das amostras	40
4.1.2 Tratamento Osmótico	41
4.2 Isothermas, umidade de equilíbrio e atividade de água	42
4.3 Cinética da secagem.....	45
4.3.1 Descrição do equipamento de secagem	45
4.3.2 Modelagem da cinética de secagem.....	46
4.4 Avaliação estatística	49
4.5 Caracterização físico-química	49
4.5.1 Solubilização do resíduo mineral fixo (cinzas).....	50
4.5.2 Carboidratos.....	50
4.5.3 Valor energético.....	50
4.5.4 Sólidos solúveis	51
4.5.5 pH.....	51

4.6 Vitamina C	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1 Medidas dos frutos	52
5.2 Pré-tratamento osmótico	52
5.3 Cálculo das isotermas	52
5.4 Umidade de equilíbrio	57
5.5 Curvas de secagem	59
5.5.1 Modelagem matemática para a cinética de secagem	61
5.6 Cálculo das propriedades termodinâmicas	68
5.7 Análise de macronutrientes	76
5.8 Determinação de pH	77
5.9 Sólidos solúveis	77
5.10 Determinação de Vitamina C	77
5.11 Composição dos micronutrientes	78
6 CONCLUSÕES	82
7 SUGESTÕES	83
REFERÊNCIAS	84
APÊNDICE	104

1 INTRODUÇÃO

O homem, ao longo de sua história, acomodou-se em grupos, instituiu tradições e costumes e descobriu novos meios de manipular os alimentos tanto para facilidade de consumo quanto para conservar e manter suas qualidades. O termo alimento diferencia-se de nutrientes pois são substâncias de composição complexa que, em estado natural, processados ou cozidos, são consumidos para suprir necessidades nutritivas e saciar satisfações sensoriais (ORDÓÑEZ, 2005). Em geral compõem-se de misturas que são ingeridas por hábito, costumes ou como aditivos, tendo ou não valor nutritivo (SALINAS, 2002) e são consumidos regularmente por uma coletividade, proporcionando benefícios em longo prazo para a saúde (BÉLIVEN; GINGRAS, 2007). Os nutrientes, segundo ORDÓÑEZ (2005), são certas substâncias contidas nos alimentos que o organismo utiliza, transforma e incorpora aos seus próprios tecidos para cumprir três finalidades básicas:

- Proporcionar energia necessária para que mantenham a integridade e o perfeito funcionamento das estruturas corporais;
- Prover materiais necessários para a formação dessas estruturas;
- Suprir as substâncias necessárias para regular o metabolismo.

Com o advento do desenvolvimento e transformações tecnológicas, tornou-se necessário armazenar os alimentos por longos períodos de tempo surgindo várias formas de tratamento, dentre eles, destaca-se a secagem.

O termo secagem caracteriza a redução da água de um alimento diminuindo as atividades biológicas, de reações químicas e bioquímicas e de desenvolvimento de micro-organismos nocivos ao Homem.

O calor necessário para conseguir a evaporação da água dos alimentos pode ser transmitido por condução, convecção e radiação, que podem ser combinadas, mas uma delas vai predominar. De acordo com Aversa et al. (2007), a secagem convectiva forçada com ar quente é a técnica mais utilizada pelas indústrias para secar alimentos. Sendo os valores típicos de temperatura do ar variando de 40°C a 80°C e a velocidade do ar entre 0,5 e 5 m.s⁻¹.

A cinética de secagem, ou seja, a taxa na qual o alimento perde umidade e ocorrem transformações internas e externas, é controlada pelas características da matriz do mesmo e pelas seguintes variáveis: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar (CELESTINO, 2010) ou sob certo grau de vácuo, quando as temperaturas são mais baixas (FAN, 2010).

Alguns fatores controlam a taxa de secagem, são eles: condições do processo (tipo e condições de operacionalização do secador), fatores externos (temperatura, velocidade e

umidade relativa do ar) natureza do alimento que será submetido à secagem (difusão da água ou vapor d'água, sua composição e estrutura). Segundo Foust et al. (1982) e Hall (1980), o processo de secagem de um produto sob condições constantes de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar pode ser dividido em um período de velocidade constante e outro de velocidade decrescente.

Alimentos desidratados proporcionam produtos compactos, fáceis de transportar e com valor nutricional concentrado, já que neste processo a água é removida. A retirada da água, através da secagem, é um método eficaz de controle do desenvolvimento microbiano, consequentemente, apresentando estabilidade no armazenamento (PANI et al., 2008).

A desidratação osmótica tem proporcionado bons rendimentos e eficiência quanto à manutenção e/ou concentração de nutrientes, devido ao incremento de sólidos solúveis que favorecem tal efeito.

A demanda por alimentos é crucial, atualmente e mundialmente. As frutas têm um caráter especial neste aspecto, pois são de fácil consumo e podem ser cultivadas nas mais diferentes formas e solos, desde que sejam favoráveis ao seu plantio. Dentre essas frutas, o kiwi mostra-se como boa alternativa de cultivo e consumo no Brasil. A demanda do kiwi aumentou muito nos últimos anos, assim como por outras frutas desidratadas, diante de uma população preocupada com a saúde e com desejo de consumir alimentos saudáveis, de fácil manuseio e transporte. Daí o interesse pelo kiwi desidratado frente às outras frutas já lançadas no mercado, tais como: manga, maçã, banana, abacaxi, figo e ameixa.

O kiwi (*Actinidia deliciosa*) é um fruto de casca marrom esverdeada, com pequenas sementes que lembram raios, é uma das poucas frutas de coloração verde quando no seu estágio maduro e a clorofila é a responsável por essa característica. Os frutos são ricos em propriedades antioxidantes, sais minerais (principalmente fósforo, cobre, magnésio e potássio), vitaminas C e E, fibras dietéticas, possuem pouca gordura e leves efeitos laxativos devido à sua enzima actinidina. Ajudam no combate à anemia, cansaço físico e mental, dispepsia, ansiedade e fraqueza generalizada (KIWI, [2009]).

Atualmente, a Itália e a Nova Zelândia são os maiores produtores mundiais (, 2004) e Portugal é o 4º maior produtor europeu (PASSOS, 2015).

O mercado de frutas exóticas no Brasil tem crescido muito nos últimos anos e o país encontra-se em terceiro lugar na produção mundial de frutas (KUSKOSKI et al., 2005; MAIA; SOUSA; LIMA, 2007; PARANÁ, 2012). A produção em 2011 superou a marca de 1,3 mil toneladas (SAFRA, 2014). Estudo da Organização das Nações Unidas para

Agricultura e Alimentação e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (FAO-OCDE) aponta que o Brasil deverá aumentar em 40% a produção agrícola até 2019, superando com grande margem países como Ucrânia (29%), Rússia (26%), China (26%), Índia (21%), Austrália (17%), Estados Unidos e Canadá (10 a 15%) (NERY, [2015]).

Este trabalho teve como objetivos verificar o efeito do pré-tratamento osmótico e da secagem convectiva em kiwis, descascados e fatiados, na cinética de secagem, ajustando-se os dados aos modelos matemáticos empíricos, quantificar os teores de vitamina C e de macro e micronutrientes no fruto antes e após a desidratação osmótica verificando a relevância deste tratamento no aumento ou diminuição das concentrações dos nutrientes.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar o efeito do pré-tratamento osmótico na cinética de secagem do kiwi (*Actinidia cv. Hayward*) em solução de sacarose comercial na concentração de 10%, bem como as isotermas de sorção a 40°C, 50°C, 60°C e 70°C e o teor de macro e micronutrientes do fruto antes e após a desidratação osmótica.

2.2 Específicos

- Determinar isotermas de sorção através do método gravimétrico estático nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C com velocidade de ar de $2,1 \pm 0,3 \text{ m.s}^{-1}$ e realizar ajuste dos dados ao modelo de GAB, BET, Halsey, Iglesias-Chirife e Peleg;
- Determinar a cinética de secagem do kiwi fatiado e pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, utilizando um secador de leito fixo convectivo nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C;
- Modelar a cinética de secagem através dos modelos empíricos e semi-empíricos de Page, Page modificado, Henderson-Pabis, Henderson-Pabis modificado, Peleg, Newton e Difusivo;
- Determinar a composição química dos macronutrientes: carboidratos, gorduras, cinzas, além do valor energético, pH, sólidos solúveis e dos seguintes micronutrientes: alumínio, cálcio, cobre, fósforo, potássio, magnésio, manganês, sódio, zinco através da técnica de espectrometria de absorção atômica com plasma indutivamente acoplado – ICP, e vitamina C no kiwi antes e após o processo de desidratação osmótica.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Origem e composição nutricional do kiwi

O kiwi ou quivi é uma fruta exótica, cítrica originária da região montanhosa da China, pertencente à família *Actinidiaceae*, também conhecido pelo nome de *Actinidia chinensis*, que foi introduzido no Brasil somente na década de 1970, despertando grande interesse no mercado devido aos preços, boa e alta produtividade e baixos custos de produção, tendo como principais produtores os estados de Minas Gerais, São Paulo, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande de Sul (CARVALHO; LIMA, 2002; SAQUET; BRACKMANN, 1995; TEIXEIRA, 2011). Existem diferentes tipos de variedades de kiwi, sendo que as mais produzidas são: Allison e Abbott, Bruno, Hayward e Monty (PAZ, 2007). De acordo com Will, Lim e Greenfield (1986), o kiwi é fonte de vários minerais, vitaminas e carotenoides, vitamina C, que contribuem para fortalecer as defesas do organismo contra gripes, resfriados, escorbuto e doenças de pele. O fruto pode combater, ainda, constipação, insônia, problemas digestivos (MOTOHASHI et al., 2002). O fruto apresenta geometria oblonga, é rico em betacaroteno e potássio (HEIFFIG et al., 2006), tem grandes quantidades de vitaminas e minerais, principalmente vitamina C com teores que chegam ao dobro da laranja. Por ser considerada uma fruta cítrica, contém antioxidantes que são importantes na diminuição da incidência de doenças degenerativas (câncer), cardiovasculares, inflamações e disfunções cerebrais (MACHADO et al., 2010, citado por GOMES et al. 2012)¹.

Para uma porção de kiwi (cerca de 100g) há 61 calorias, sua composição nutricional segundo UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA) (2016) é apresentada na Tabela 1:

¹ MACHADO, M. I. R. et al. **Poder antioxidante e vitamina C de polpas de kiwi nacional e chileno.** Rio Grande do Sul, 2010.

Tabela 1 - Composição nutricional do kiwi *in natura*

Parâmetro	Concentração
Umidade (b.u)	83,07%
Proteínas	1,14%
Lipídeos	0,52%
Açúcares	8,99 g.100g ⁻¹
Carboidratos	14,66 g.100g ⁻¹
Valor energético	61 kcal
Sódio	3 mg.100g ⁻¹
Potássio	312 mg.100g ⁻¹
Cálcio	34 mg.100g ⁻¹
Magnésio	17 mg.100g ⁻¹
Fósforo	34 mg.100g ⁻¹
Zinco	0,14 mg.100g ⁻¹
Vitamina C	92,7 mg.100g ⁻¹

Fonte: USDA (2016).

O kiwi cv. “Hayward” (Figura 1) é classificado como fruto climatérico à temperatura ambiente, mas pode se comportar como não climatérico a temperaturas $\leq 10^{\circ}\text{C}$, ou seja, no final do período de maturação apresenta um marcante aumento na taxa respiratória, provocado pelo aumento na produção de etileno. O pico das taxas respiratórias ocorre no momento da maturidade fisiológica dos representantes deste grupo de frutos climatéricos. Desta forma, há possibilidades de seu armazenamento por tempo prolongado.

Figura 1- Aspecto geral do kiwi *in natura*

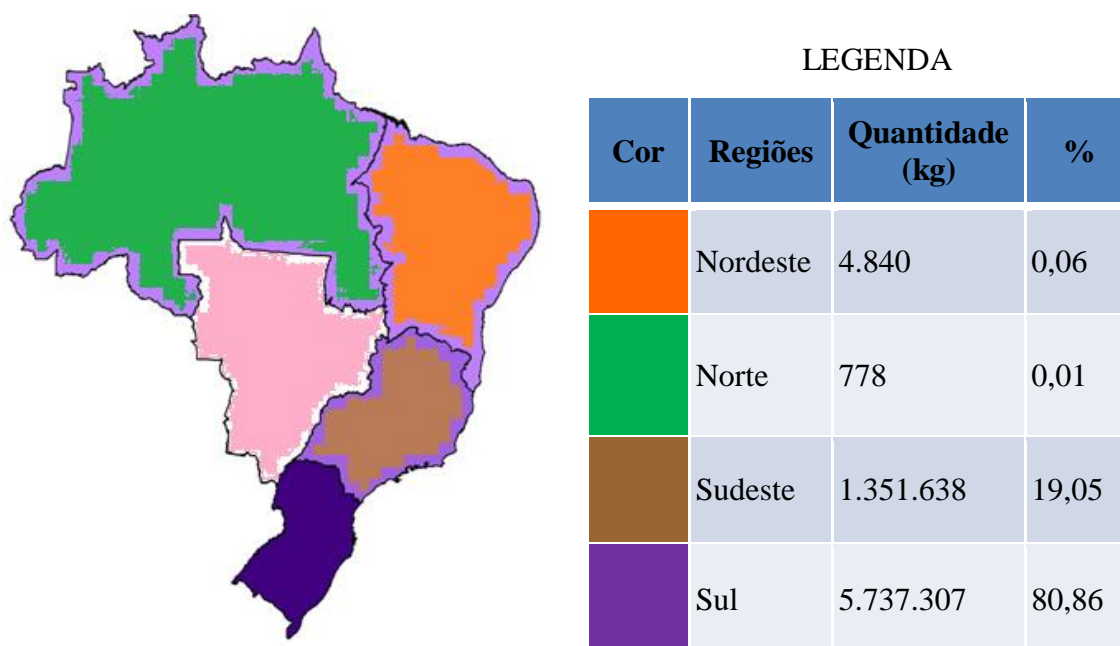
Fonte: Wegmann (2011).

3.1.1 Produção do kiwi e seus derivados

A produção de kiwi no Brasil está em fase de expansão, sendo a cidade de Mallet, no interior do estado do Paraná, a capital do kiwi (PARANÁ, 2015), além de outras regiões, conforme apresentado nas Figuras 2 e 3 segundo dados da PROHORT (BRASIL, 2015) sendo que os estados de maior produção dessa fruta são Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina e São Paulo, respectivamente.

A demanda vem aumentando consideravelmente no Brasil, levantando interesse de agricultores, comerciantes e pesquisadores sobre o fruto que promete muitos benefícios no seu consumo (Figuras 2 e 3).

Figura 2 - Brasil por Regiões na Origem - Ranking dos 4 maiores estados produtores de kiwi



Fonte: PROHORT (2015).

Tradicionalmente, o cultivo do kiwi é motivado pela alta rusticidade conferida pelas plantas às pragas e doenças, o que resulta em uma baixa necessidade de aplicação de defensivos agrícolas (GRELLMANN, 2005).

Segundo Souza et al. (1996) e Grellmann (2005), a maior parte do kiwi comercializado no Brasil provém de importação, o que demonstra o seu potencial de mercado. Outro motivo para o plantio dessa fruta é a diversificação da produção, que constitui uma boa alternativa às

pequenas propriedades, pois o fruto é colhido em período de entressafra de outras culturas frutíferas de clima temperado, na região da Serra Gaúcha.

O preço de mercado do kiwi pode chegar entre R\$ 1,20 a R\$ 1,50 por quilo. Esse valor poderia ser mais rentável se houvesse um melhor manejo da fruta por ocasião da colheita (principalmente no que se refere ao ponto de colheita) e uma menor concorrência de outros países produtores, como Chile e Itália, que colocam seu produto no Brasil em grandes volumes (SILVEIRA et al., 2012).

O consumo do kiwi, ainda é em sua forma *in natura*, ou como sorvete, sucos, geleias, iogurtes, doces e bebidas alcoólicas. Não há no mercado, o fruto em sua forma desidratada.

3.2 Conservação do alimento por secagem e desidratação osmótica

A qualidade dos produtos desidratados é determinada pela qualidade da matéria-prima utilizada. As frutas utilizadas no processamento devem ser necessariamente sadias. Não devem ser utilizadas frutas excessivamente verdes, estragadas, podres ou atacadas por insetos e larvas. As frutas a serem processadas precisam passar por uma etapa de seleção, onde são retiradas aquelas inadequadas ao processamento e todos os materiais estranhos como folhas, caules, pedras etc. (TORREZAN, [2016?]).

Para conservar um alimento, existem várias técnicas, dentre elas destaca-se a secagem, que no início consistia na exposição do produto ao sol durante um tempo até que o mesmo estivesse com o teor de água reduzido. Nesse processo, percebeu-se que alguns alimentos, mesmo depois de secos, ainda eram comestíveis e que a carne durava mais tempo sem estragar (DIONYSIO; MEIRELLES, 2003).

A secagem consiste na retirada de parte da água dos alimentos. Os micro-organismos presentes no alimento precisam de água para suas funções vitais, ao retirar a água, consegue-se diminuir consideravelmente as ações microbiológicas no alimento e outras reações de deterioração.

A desidratação osmótica em alimento consiste na imersão, geralmente frutas e verduras, em solução abaixo do ponto de saturação do soluto. O soluto reduz a água do alimento, desidratando-o. Tal procedimento pode garantir a preservação de nutrientes o que favorecerá a sua vida de prateleira e palatabilidade. Diante disso, nos gradientes de concentração entre alimento e solução osmótica, estabelecem-se dois fluxos em contracorrente através das paredes celulares sendo: um fluxo de água do alimento para o exterior e um fluxo de soluto no

sentido oposto (NORÕES et al., 2005). De acordo com LOMBARD et al. (2008), esse processo de desidratação é utilizado como tratamento preliminar para outras técnicas de desidratação e visa melhorar a qualidade do produto final, como a estabilidade na cor, maior retenção de vitaminas, melhor qualidade na textura, redução do custo de energia além de possibilitar a formulação de novos produtos.

Para Gonçalves e Blume (2008), a transferência de água é um dos aspectos mais importantes durante a desidratação osmótica. O principal mecanismo de transferência de massa é a difusão devido ao gradiente de concentração entre a solução osmótica e o alimento. Ao submergir a fruta em uma solução concentrada de solutos não voláteis, a água do alimento, que lhe confere um alto valor de umidade, pode ser removida. Desse modo, reduz-se significativamente, a carga no secador em uma subsequente fase de secagem. Assim, o produto obtido será diferente daquele oriundo unicamente do processo de secagem por convecção forçada de ar (ALVES et al., 2005; FERNANDES et al., 2006; LOMBARD et al., 2008; OSÓRIO et al., 2007; PEIRÓ-MENA; CAMACHO; MARTÍNEZ-NAVARRETE, 2007; SPEIRS; COOTE, 1986).

Na desidratação de alimentos os produtos tornam-se compactos, fáceis de transportar e com valor nutricional concentrado, pois a água é removida, aumentando a concentração dos solutos. Como a retirada da água, pela secagem é um método eficaz de controle de desenvolvimento microbiano, ocorre maior estabilidade no armazenamento do produto seco (CRUESS, 1973; CRUZ, 1989; KHAN et al., 2008; PANADES et al., 2008; PANI et al., 2008).

As mudanças nas qualidades nutricionais entre o produto seco com o fresco (*in natura*) faz da desidratação osmótica um grande interesse tecnológico e uma alternativa para a conservação de alimentos (CÓRDOVA, 2006).

A qualidade de produtos desidratados pré-tratados osmoticamente acompanha outras técnicas de desidratação (congelamento, vácuo, ar). Portanto, a desidratação osmótica pode fazer parte da planta de processo de alimentos servindo como pré-tratamento para a desidratação de produtos (BARBOSA-CÁNOVAS; VEGA-MERCADO, 1996; RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004; SOUZA NETO, 2004).

No Brasil, que possui grande variedade de frutas e disponibilidade de açúcar de cana, a desidratação osmótica torna-se, além das vantagens citadas acima, uma alternativa promissora (FALCONE; SUAZO, 1988 citado por SOUSA et al., 2003)².

Alguns exemplos de frutas desidratadas comercializadas no Brasil são: manga, abacaxi, maçã, banana, ameixa e figo.

3.3 Macros e micronutrientes no alimento

A análise dos macros nutrientes em frutas corresponde à determinação das proteínas, carboidratos, resíduo mineral fixo (cinzas), umidade, lipídios, além do valor energético (LAJOLO, 1997; LAJOLO, 1987; PHILIPPI; RIGO; LORENZANO, 1995³ citados por Silva et al., 2003).

A análise de micronutrientes ou minerais constitui uma forma de verificar como o processo usado na preservação do alimento favorece ou não sua concentração. Alguns minerais estão diretamente ligados ao tipo de solo em que a fruta é cultivada, outros podem se concentrar nas camadas mais internas do alimento, independente do tipo de solo em que ele foi cultivado. Os micronutrientes majoritários são o sódio, potássio, fósforo, cobre, zinco, magnésio e cálcio.

3.3.1 Cinzas

As cinzas são os resíduos inorgânicos que permanecem após a queima da matéria orgânica, que é transformada em CO₂, H₂O e NO₂ (CECCHI, 2011). É constituída principalmente de:

- Grandes quantidades: K, Na, Ca e Mg;
- Pequenas quantidades: Al, Fe, Cu, Mn e Zn;
- Traços: Cr, I, F, Se e outros elementos químicos.

² FALCONE, M. A.; SUAZO, V. A. T. Desidratação osmótica do abacaxi (*Ananas comosus* L.). Parte 1. **Boletim da SBCTA**, Campinas, v. 22, n. 1/2, p. 17-35, 1988.

³ PHILIPPI, S. T.; RIGO, N.; LORENZANO, C. Estudo comparativo entre tabelas de composição química dos alimentos para avaliação de dietas. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 200-213, 1995.

O teor de cinzas (resíduo mineral fixo) estima a quantidade de micronutrientes como cálcio, fósforo e sais minerais do alimento. Para Chaves et al. (2004), a faixa de valores de sais minerais, em percentagem, em frutas frescas está entre 0,3 e 2,1%. Alguns alimentos de origem vegetal podem apresentar elevados teores de sílica, aumentando o valor de cinzas, mas não acarreta nenhum valor nutritivo para os animais (SILVA, 1981).

Os micronutrientes são de grande importância para prevenir e combater doenças, dentre eles estão o cálcio (fortalece os ossos, transmissão nervosa e regulação da função muscular e cardíaca, de acordo com Tognon (2012); sódio e potássio (ajudam a equilibrar os íons dos organismos e no bombeamento do sangue ao coração), magnésio (depois do potássio, o magnésio é o mineral intracelular mais abundante no organismo humano).

3.3.2 Macronutrientes

3.3.2.1 Umidade

A determinação da umidade de um alimento relaciona-se com sua estabilidade, composição físico-química, microbiológica e posteriormente, sua qualidade, podendo afetar o processo, armazenamento e embalagem. Alimentos com alto teor de umidade, poderão se deteriorar mais facilmente que aqueles que têm baixa umidade. O conteúdo de umidade varia de acordo com o tipo de alimento. Segundo Instituto Adolfo Lutz (2008), a faixa de umidade para frutas *in natura* fica entre 65 a 95%.

Há dois modos de expressar a umidade contida em alimentos (CELESTINO, 2010; PARK et al., 2007; QUEIROZ, 2003; SILVA et al, 2001):

- O teor de umidade em base úmida que é a relação entre a massa de água e a massa total de produto (equação 1):

$$U_{bu} = \frac{m_{H_2O} \cdot 100}{m_t} \quad (1)$$

Onde:

U_{bu} = umidade, em base úmida, %;

m_{H_2O} = massa de água contida no produto, kg;

m_t = massa total do produto, ou seja, a soma da massa de matéria seca com a massa de água, kg.

- A umidade em base seca que é a relação entre a massa de água contida no produto e a massa de matéria seca (equação 2):

$$U_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_s} \quad (2)$$

Onde:

U_{bs} = umidade, em base seca, decimal;

m_s = massa de matéria seca, kg

Comumente se expressa o teor de umidade, em base úmida, em porcentagem, uma vez que é uma variável cujo valor está entre 0% e 100%. Já o teor de umidade em base seca é geralmente expresso em decimal, uma vez que essa variável pode ter valores entre zero e infinito e, portanto, não faz sentido expressar os valores em porcentagem. Geralmente, o teor em base úmida é usado em designações comerciais e no estabelecimento de preços ao passo que o teor em base seca é comumente usado em trabalho de pesquisa e cálculos específicos (SILVA, 2001).

Para converter a umidade de base úmida para base seca ou vice-versa pode-se usar a Equação 3 (SILVA, 2001; QUEIROZ, 2003; PARK et al., 2007):

$$U_{bu} = \frac{100 \cdot U_{bs}}{1 + U_{bs}} \quad (3)$$

Onde:

U_{bu} = umidade, em base úmida, percentual;

Segundo Queiroz (2003) a quantidade de água removida durante o processo de secagem é calculada em função dos teores de umidade inicial e final e da massa de produto inicial.

3.3.2.2 Lipídeos

Lipídeos são substâncias com características oleosas ou gordurosas, as quais, juntamente com as proteínas, ácidos nucleicos e carboidratos, são consideradas essenciais à constituição das estruturas (LISBOA, 2010). Os lipídeos são definidos por um conjunto de substâncias químicas que, ao contrário das outras classes de compostos orgânicos, não são caracterizadas por algum grupo funcional comum, e sim pela sua alta solubilidade em solventes orgânicos e baixa solubilidade em água. Fazem parte de um grupo conhecido como

biomoléculas. Os lipídeos se encontram distribuídos em todos os tecidos, principalmente nas membranas celulares e nas células de gordura.

Os lipídios são substâncias insolúveis em solventes como a água e solúveis em solvente apolares, tais como: benzeno, hexano, éter, clorofórmio e outros solventes orgânicos. Seus principais representantes são as gorduras e os óleos encontrados nos mais diversos tipos de alimentos. Fornecem energia celular, atuam como isolantes térmicos facilitam reações químicas através da ação dos hormônios sexuais, vitaminas lipossolúveis (A, D, E, K), além de participarem da composição das membranas celulares (CORSINO, 2009).

3.3.2.3 Proteínas

As proteínas são a mais complexa e variada classe de moléculas dos organismos vivos. Estão em todas as células e apresentam importância biológica inestimada. São constituídas por macromoléculas resultantes da condensação de muitas moléculas de α -aminoácidos (CARVALHO; SOUZA, 2003). As proteínas exercem funções cruciais em todos os processos biológicos, incluindo catálise enzimática, transporte e armazenamento, movimento coordenado das células dos músculos, sustentação mecânica, geração e transmissão de impulsos nervosos, controle do crescimento e da diferenciação e ainda servem em todas as células como sensores que controlam o fluxo de energia e de matéria (CORSINO, 2009).

3.3.2.4 Carboidratos

Os carboidratos são as biomoléculas mais abundantes no planeta. A cada ano, a fotossíntese converte mais de 100 bilhões de toneladas de gás carbônico e água em celulose e outros produtos vegetais. São predominantemente, polihidroxialdeídos e polihidroxicetonas cíclicas ou substâncias que liberem esses compostos por hidrólise (NELSON; COX, 2002). Apresenta na forma de açúcar ou amido, a maior parte de ingestão calórica dos seres vivos. Também são chamados de Hidratos de Carbono ou Glicídios. Suas moléculas são constituídas, geralmente, por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio (CORSINO, 2009). Têm funções estruturais, servem como reserva energética e matéria-prima para biossíntese de outras biomoléculas (BRUNO, 2014).

3.4 Ação da Vitamina C

Há muitos anos, a deficiência de vitamina causa diversas doenças mundialmente. Um dos grandes responsáveis no combate de algumas destas doenças é o ácido ascórbico ou vitamina C, correspondente, quimicamente, ao (R-3,4-dihidroxi-5-(S)-1,2-didroxi)furan-2-(5H)-ona, fórmula molecular $C_6H_8O_6$ e peso molecular igual a $176,12g.mol^{-1}$. É um sólido branco cristalino, em temperatura ambiente e ponto de fusão entre 190-192°C (BOBBIO; BOBBIO, 1995). Possui importância para o metabolismo dos animais e é obtido através da alimentação. Sua deficiência leva à síntese defeituosa do tecido colagenoso e ao escorbuto. Os sintomas são sangramento e inchaço das gengivas, perda de dentes, sangramentos subcutâneos, baixa cicatrização e outros. Essa doença era comum na época das grandes navegações e causou grande número de mortes, visto que nas longas viagens os navegantes não dispunham de alimentos como verduras e frutas cítricas (SNYDER, 1995).

Para Ribeiro e Seravalli (2007) vitaminas são compostos orgânicos, necessários em quantidades mínimas para promover o crescimento, manutenção fisiológica e a capacidade de reprodução. A ingestão diária de vitaminas necessária para garantir o funcionamento adequado do organismo é especificada como Dose Diária Recomendada (DDR).

Manela-Azulay (2003) cita que o conceito de vitamina antiescorbútica foi estabelecido pelo polonês Casimir Funk (que denominou a substância de “vital amim”, ou amina vital). Somente em 1935 a síntese total da vitamina C foi realizada por Hirst, Harworth e Szent-Gyorgyi, após vários estudos sobre a definição de sua estrutura. Há estudos que comprovam que a vitamina C não é sintetizada pelo organismo humano, sendo necessária sua ingestão através da dieta (AGUIAR, 2001).

De acordo com Guthrie (1989) a determinação do conteúdo de ácido ascórbico em vegetais é muito importante, pois além de seu papel fundamental na nutrição humana, sua degradação pode favorecer o escurecimento não enzimático (ABD ALLAH; ZAKI, 1974), causando sabor estranho (BERNHARDT et al., 1979). O ácido ascórbico é um importante indicador em alimentos, pois sendo a vitamina mais termolábil, sua presença indica que provavelmente os demais nutrientes também estão sendo preservados (BENDER, 1978).

Estudos recomendam, para melhor conservação da vitamina nos alimentos, o armazenamento em baixa temperatura, rápido pré-aquecimento (para destruir as enzimas oxidantes), além do mínimo contato com o oxigênio atmosférico. Segundo eles, a pasteurização, o cozimento, a desidratação e a evaporação destroem parcialmente a vitamina

C, devido a sua alta solubilidade em água. Relatam ainda que os sucos de citros e de tomate enlatados ou congelados contêm os mesmos teores de vitamina C das frutas “in natura” (CAMARGO et al., 1984).

Segundo Fiorucci, Soares e Cavalheiro (2003), a vitamina C é rapidamente decomposta pelo calor. Em consequência dessa característica, o seu isolamento é um tanto difícil, e vegetais cozidos por tempo elevado e alimentos obtidos por processamento industrial intenso contêm vitamina C em pequena quantidade.

3.5 pH

O pH é uma medida que expressa a acidez, basicidade ou neutralidade de uma substância. Determina a concentração hidrogeniônica de uma solução e se relaciona inversamente com a acidez (LOBO, 1991). O seu valor pode ser relacionado com o teor de vitamina C no alimento, considerando que quanto maior o valor do pH, menor será o teor de vitamina C. Essa medida garantirá se o mesmo sofrerá deterioração mais ou menos rápido, pois os micro-organismos atuam de forma mais intensa, quando o valor dessa grandeza se encontra na faixa neutra à alcalina (CHAVES et al., 2004).

Para Cecchi (2003) os ácidos orgânicos presentes nos alimentos influenciam o sabor, odor, cor, estabilidade e manutenção de sua qualidade. A acidez titulável varia de 0,2 a 0,3% em frutas de baixa acidez como maçãs vermelhas e bananas, 2,0% em ameixas e acima de 6% em frutas cítricas, como o limão. O ácido cítrico é o principal constituinte de várias frutas como limão, laranja, figo, pêsego, pera, abacaxi, morango e tomate. A proporção relativa de ácidos orgânicos presente em frutas e vegetais varia com o grau de maturação e condições de crescimento.

Um processo de decomposição do alimento, seja por hidrólise, oxidação ou fermentação, altera a concentração dos íons hidrogênio (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), conseqüentemente, altera sua acidez em função do incremento na concentração de ácidos orgânicos, produtos gerados do metabolismo respiratório dos frutos.

3.6 Sólidos solúveis

Para Rojas-Barquera e Narvaez-Cuenca (2009) o grau Brix é uma grandeza que

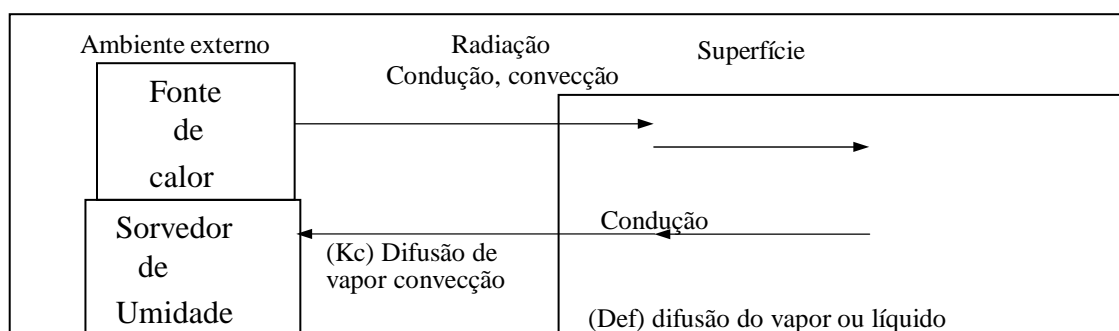
corresponde ao teor de sólidos solúveis no alimento, caracterizando sua maturidade ou grau de acidez. O teor de Brix relaciona a quantidade de substâncias dissolvidas no alimento, constituída majoritariamente, por açúcares (CASTRO, 2005). Gomes, Figueirêdo e Queiroz (2002)⁴ citados por Rocha (2012) indicaram que a doçura, sabor, cor e textura são indicativas da presença de açúcares solúveis, sendo os principais açúcares encontrados nos frutos, a glicose, frutose e sacarose, variando em proporções de acordo com a espécie e estágio de maturação. Os teores de sólidos solúveis remetem ao total de todos os sólidos dissolvidos na água, começando com açúcar, sais, proteínas e ácidos. Existe uma correlação entre a maturação e o conteúdo útil de açúcar nas frutas.

3.7 Secagem

3.7.1 Conceito

Antigamente o sol, como forma de calor, era o principal agente desidratante utilizado pelo homem para conservação de seus alimentos. No entanto, essa secagem era muito lenta e precisava de aperfeiçoamento. Com o avanço das tecnologias, a secagem ao solo deixou de ser a única alternativa para a conservação de alimento, por meio da redução de água. De acordo com Gioielli e Pitombo (1998), a secagem corresponde à eliminação de umidade no produto até atingir níveis entre 3 e 5% ao final. Na secagem de produtos sólidos ocorrem simultaneamente vários fenômenos físicos (PINEDO, 2003) que podem ser observados na Figura 3.

Figura 3 - Esquema do processo de secagem de material sólido



Fonte: Teixeira (1995).

⁴ GOMES, P. M. de A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. de M. Caracterização e isothermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 157-165, mar./abr. 2002.

Os mais importantes são: (1) transferência de calor para o material, promovendo a evaporação de água (difusão de vapor devido ao gradiente de concentração) e (2) transferência de massa do material para o ambiente externo, através da difusão de água líquida em termos de gradiente de umidade e escoamento capilar (GASPARETTO, 2005).

A redução da umidade ocorrida na secagem previne grande parte das reações bioquímicas, assegurando a estabilidade microbiana o que garante maior vida útil dos produtos submetidos a este processo (CANIZARES; MAURO, 2015; CANO-CHAUCA et al., 2004; ISENGARD; KLING; REH, 2006; MICHAILIDIS; KROKIDA, 2015).

A desidratação (ou secagem artificial) é um processo de remoção de umidade, que implica o uso de equipamentos e condicionamento do ar de secagem pelo controle da temperatura, umidade relativa e velocidade. O ar quente transporta calor para o produto a ser desidratado, promove a evaporação da água nele contido que, em seguida, é liberada para o ambiente. Na secagem artificial, as condições do ar de secagem não dependem das condições climáticas, o que favorece a obtenção de um produto de qualidade superior e um menor tempo de processamento (CORNEJO; NOGUEIRA; WILBERG, 2003).

A secagem embora seja uma das técnicas mais antigas de preservação de alimentos, mostra-se como um processo complexo envolvendo transferência de calor e massa entre o ar de secagem e o produto a ser desidratado (GONELI et al., 2014). Métodos de secagem estão sendo cada vez mais estudados e todos possuem suas peculiaridades, apresentando vantagens e desvantagens, cabendo aos produtores e/ou as indústrias a adequação ao uso de acordo com as necessidades (SARAVIA, 2006).

O mecanismo de transporte difusivo é assumido nos processos de secagem de alimentos e a taxa de secagem é descrita pela difusividade efetiva da umidade, isto é, somente ocorre o transporte da umidade no alimento. Ainda que tal premissa não valide totalmente a teoria de secagem é uma abordagem prática e conveniente para descrever a mudança do conteúdo de umidade ao longo desse processo. Os parâmetros requeridos para tal abordagem são: as dimensões e o coeficiente efetivo de difusão (PARK et al., 2014).

A segunda Lei de Fick (Equação 4) é frequentemente usada para descrever o mecanismo do processo de difusão, em que diversos autores se baseiam para o cálculo da umidade adimensional (PAKOWSKI & MUJUMDAR, 1995) e tempo de secagem (STRUMILLO & KUDRA, 1986; ARAÚJO et al., 2016).

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla (D_{ef} \nabla X) \quad (4)$$

Onde:

D_{ef} = difusividade efetiva, $m^2.s^{-1}$;

X = teor de água, %, b.s;

t = tempo decorrido durante a secagem, s.

3.7.2 Desidratação osmótica

A desidratação osmótica de frutas vem, atualmente, despertando interesse tanto na área industrial quanto ao paladar dos consumidores, o primeiro se deve ao seu baixo custo de energia, se comparado com outras técnicas de desidratação de alimentos pela facilidade de adequação a todas as escalas de produção (LIMA et al., 2004) e o segundo pela facilidade de degustação imediata e de fácil acesso ao alimento desidratado.

Consiste em submeter um alimento em uma solução osmótica salina ou de açúcares (aumentando a pressão osmótica) por um determinado período de tempo e, posteriormente, fornecer energia através de um secador para obter um produto com uma umidade muito menor que a inicial, abaixo de 25%, com isso ocorre o ganho de sólidos no alimento. A remoção parcial da água do alimento se dá por meio de uma imersão nessas soluções de altas pressões osmóticas (SOUSA et al., 2003).

A desidratação osmótica pode ser utilizada como pré-tratamento nos processos que envolvem a secagem tanto natural como artificial, garantindo uma redução dos teores de água dos alimentos, resultando em diminuição de gastos de tempo e energia, ocorrendo perda de água e ganho de sólidos (AZEREDO, 2004), visando melhorias nas propriedades nutricionais, sensoriais e funcionais do alimento, sem mudanças na sua integridade e aumento de concentração de nutrientes. Para Park e Bin (2001), geralmente, tal tratamento antecede processos como congelamento, pasteurização e secagem.

Os agentes desidratantes empregados resultam em dois fluxos de transferência de massa em contracorrente: difusão de água do alimento para a solução osmótica e do soluto para o alimento, isto é devido aos gradientes de concentração, conforme Sanjinez-Argandoña, Nishiyama e Hubinger (2002). Dentre as substâncias usadas como agente desidratante está a sacarose, um açúcar de baixo custo, fácil obtenção e agradável ao paladar. Além disso, ela

reduz a acidez natural das frutas, acentuando o gosto doce no produto final (GOULARTE; ANTUNES; ANTUNES, 2000).

Neste tipo de desidratação, alguns solutos presentes na solução osmótica não migram efetivamente para as células das frutas e hortaliças, mas sim penetram nos espaços intracelulares e ali se alojam, em razão das alterações na permeabilidade e seletividade da estrutura do tecido celular devido à maturação, condições de estocagem e pré-tratamentos químicos sofridos pelo produto. Essa impregnação do soluto no alimento possibilita a formulação de produtos funcionais e favorece a preservação sensorial e nutricional dos mesmos, sendo um diferencial dentre os demais processos de desidratação (CORZO; CENTENO citado por VEGA-GÁLVEZ et al., 2007)⁵. É uma etapa essencial na elaboração de produtos de fruta através da Tecnologia dos Métodos Combinados ou de ou "Hurdle Technology" (BRANDELERO et al., 2005). A desidratação osmótica é usada, na prática, para a desidratação parcial de alimentos antes de serem submetidos a processos adicionais como a secagem ao ar (SOUSA, 2003).

3.7.3 Modelagem matemática e cinética de secagem

Caracteriza-se como um conjunto de equações que podem predizer a precisão do processo. Os modelos matemáticos podem ser bem diferentes dependendo do sistema considerado e das circunstâncias particulares de cada um deles e é em função disto que um modelo pode ser mais adequado do que outros (OGATA, 2003).

A modelagem matemática é uma simulação que representará um modelo mais satisfatório para a perda de umidade do produto durante o período da secagem. Existem diversos métodos que demonstram de forma empírica, semi-empírica ou teórica tais modelos (AFONSO JÚNIOR; CORRÊA, 1999; FERREIRA; PENA, 2010; MARTINAZZO et al., 2007; RESENDE; FERREIRA; ALMEIDA, 2010). Vários modelos empíricos e teóricos são disponíveis na literatura para representar curvas de secagem de diferentes materiais biológicos e alimentos. Alguns de maior interesse e utilização apresentados na Tabela 1 na seção de Materiais e Métodos são: Modelo de Page, Page Modificado, Henderson-Pabis, Henderson-Pabis Modificado, Newton, Peleg e Difusivo

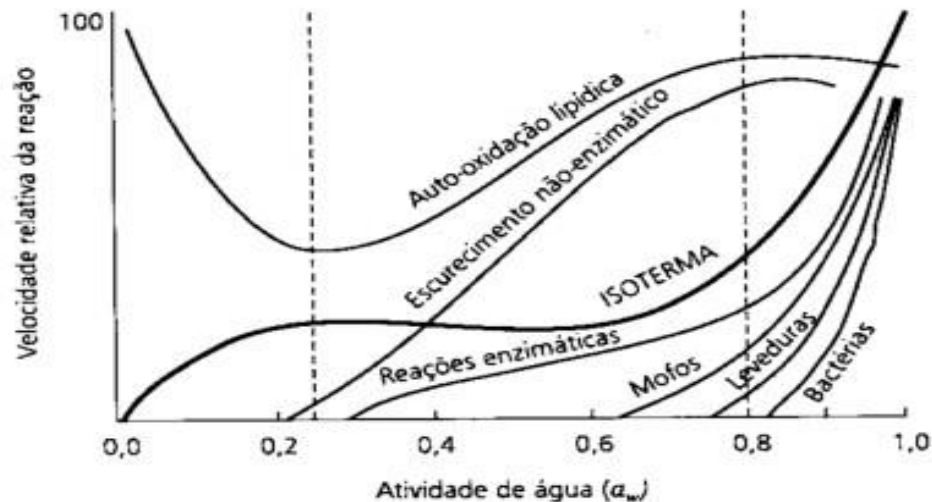
⁵ CORZO, O.; CENTENO, A. E. Superficies de respuesta de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica del melón (Cucumis melo, variedad Edisto). **Revista de la Facultad de Farmacia**, Mérida, v. 45, n. 1, p. 54-60, 2003.

3.8 Atividade de água e isothermas

3.8.1 Conceito

A água no alimento sólido pode-se encontrar sob duas formas: água livre e água combinada. A água livre é a que está disponível no alimento, ou seja, é a água que pode ser removida por secagem, solidificada por congelamento ou indisponibilizada pela adição de eletrólitos como NaCl ou não-eletrólitos como sacarose (KARMAS, 1980). Segundo Leung (1981), a água combinada tem como característica mais importante a de não ser congelável. Outras propriedades são a baixa pressão de vapor, alta energia de ligação, não disponibilidade molecular e propriedades dielétricas diferentes daquelas da água livre. A atividade da água está intrinsecamente relacionada com a capacidade de proliferação de micro-organismos, sendo utilizada, dessa forma, no cálculo da vida útil dos alimentos (ROSA; MORAES; PINTO, 2010; YAN et al., 2012). A Figura 4 mostra o crescimento dos micro-organismos em função da atividade de água.

Figura 4 - Influência da atividade da água na taxa de crescimento microbiano



Fonte: Adaptado de Labuza (c1975).

A água é um dos mais importantes componentes dos alimentos, afetando todas as suas propriedades físicas. A forma como a água afeta a natureza física e as propriedades dos alimentos é complicada devido à interação entre suas moléculas e o meio, o que envolve a estrutura física, bem como a composição química dos diversos solutos incluindo polímeros e coloides ou partículas dispersas (PARK; BIN, 2001). O alto valor de umidade das frutas *in*

natura, juntamente com outros fatores, como a presença de ar, facilita a atuação de micro-organismos deteriorantes (OLIVEIRA; AFONSO; COSTA, 2011).

De acordo com Mohsenin (1986) é possível estabelecer uma relação estreita entre o teor de água livre ou atividade de água no alimento e sua conservação. Para Teixeira Neto e Quast (1993 citado por PAGLARINI et al., 2013)⁶ o estudo da curva de sorção, que relaciona esta atividade de água com a umidade relativa de equilíbrio, fornece informações relevantes para adequação dos parâmetros de secagem. A determinação da atividade de água é uma das medidas mais importantes no processamento e na análise dos materiais biológicos, devido a sua importância no que diz respeito à qualidade e estabilidade.

A afinidade existente entre a água e os outros componentes de um produto definem suas higroscopicidade que é muito marcante nos produtos e torna-se uma característica fundamental a influenciar os processos de manuseio, estocagem e consumo de materiais biológicos (PARK et al., 2001).

Quando um material biológico 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 d'água na superfície do material se iguala à pressão de vapor d'água do ar que o envolve (TREYBALL, 1968 citado por SANTOS, 2011)⁷.

Diversos fatores influenciam a qualidade do produto final, dentre elas estão a escolha do método e as condições apropriadas para que não haja efeitos negativos na estabilidade física, química ou microbiológica dos alimentos. Existe um parâmetro que é muito usado nesse controle, são as chamadas isotermas de sorção, que são curvas onde a variação do teor de umidade de equilíbrio de uma amostra em função de sua atividade de água a uma dada temperatura representa o ganho ou perda de água (umidade), classificando-se como adsorção (ganho) ou dessorção (perda) dessa umidade. Esta relação depende da composição química dos alimentos (gordura, amido, açúcar, proteínas, etc.) (SANTOS, 2011).

Tais curvas são importantes fontes de caracterização dos principais componentes responsáveis pela capacidade de sorção da água nos alimentos. Alguns alimentos podem apresentar comportamento na forma sigmoide, como as proteínas, outros podem se apresentar na forma exponencial como os açúcares (ALVES, 2007). Existe uma classificação dada por

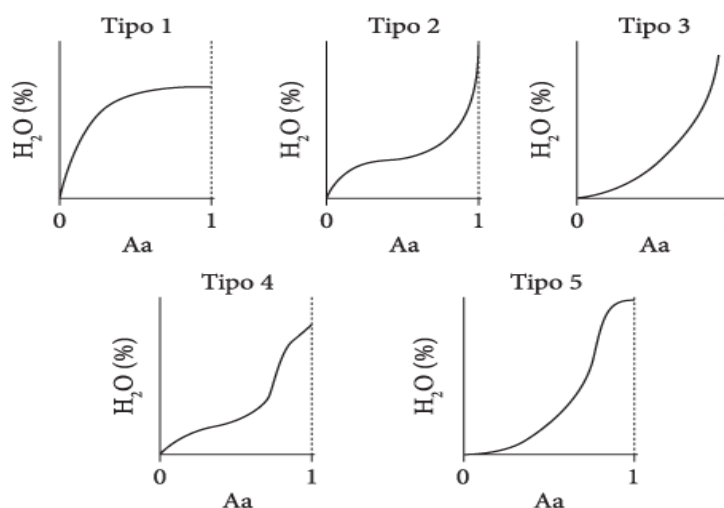
⁶ TEIXEIRA NETO, R. O.; QUAST, D. G. **Isotermas de adsorção de umidade em alimentos**. Campinas: ITAL, v. 8, p. 141-197, 1993.

⁷ TREYBALL, R. E. Drying. In: TREYBALL, R. E. **Mass-Transfer Operations**. New York: McGraw-Hill, 1968. p. 569-575.

Brunauer et al. (1940) para as isotermas de sorção de acordo com a sua forma, estabelecendo cinco diferentes tipos, como pode ser observado na Figura 5, onde a atividade da água é representada por Aa.

Nesta Figura, a curva do tipo I mostra que a água está fortemente ligada ao alimento. Na curva do tipo II existe água ligada ao alimento e presente em pequenos capilares, já na curva do tipo III, a umidade presente encontra-se em grandes capilares e é considerada como água livre. As curvas dos tipos IV e V representam adsorção máxima a uma pressão inferior à pressão de vapor do gás (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2007).

Figura 5 - Tipos de isotermas descritas por Brunauer et al. (1940)



Fonte: Adaptado de Mathlouthi e Rogé (2003).

Para determinação experimental de umidade de equilíbrio torna-se necessário um ambiente com umidade relativa controlada. O método de controle de umidade relativa mais usado é o que utiliza compostos químicos, tais como soluções aquosas de ácido sulfúrico e soluções de sais. Cada solução apresenta um grau de ajuste de umidade relativa que pode ser obtido variando-se a concentração das soluções a diferentes temperaturas (PARK et al., 2001). Essa relação depende de diversos fatores, tais como (ABRAMOVIČ; KLOFUTAR, 2006; CELESTINO, 2010):

- Estrutura física da superfície do material;
- Composição química e;
- Afinidade com a água.

O método gravimétrico é um dos mais utilizados na determinação experimental de isotermas. Envolve o uso de soluções aquosas de ácido sulfúrico em diferentes concentrações ou soluções saturadas de diferentes sais para manter a pressão de vapor constante dentro de uma câmara fechada (SPIESS; WOLF, 1983). O alimento é colocado no interior dessa câmara, que se encontra também a temperatura constante. Onde para cada tipo de solução utilizada tem-se uma pressão de vapor diferente na câmara e, desta forma, haverá um diferente valor de atividade de água e umidade de equilíbrio para o alimento (diferente ponto de uma mesma isoterma).

Sendo que, em alimentos, as curvas mais encontradas são as do tipo 2 e 4 de acordo com Basu, Shivhare e Mujumdar (2006), Blahovec e Yanniotis (2009), Mathlouthi e Rogé, (2003), onde podem ser determinadas a partir do ajuste de pontos experimentais a modelos matemáticos conhecidos.

3.9 Propriedades termodinâmicas

No estudo das propriedades termodinâmicas da água e alimento, bem como das isotermas de sorção, existem variáveis fundamentais que fornecem informações úteis na avaliação das operações de processamento de alimentos, tais como secagem, mistura e armazenamento (PÉREZ-ALONSO et al., 2006). O conhecimento das isotermas de sorção a diferentes temperaturas permite uma avaliação do calor de sorção, que determina a interação entre o adsorvente e o adsorvido (VILLA-VÉLEZ, 2011). Geralmente, sua determinação significa analisar os dados experimentais das isotermas de sorção através da equação de Clausius- Clapeyron (Equação 5), a um teor de umidade constante:

$$\frac{\partial(\ln a_w)}{\partial(1/T)} = -\frac{q_s}{R} \quad (5)$$

Onde:

q_s é o calor líquido isostérico de sorção ($\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$).

O calor isostérico de sorção (Q_{st}) (Equação 6) é a soma do calor líquido isostérico de sorção e a energia de vaporização da água pura (λ_{vap} OU λ , conforme a Equação 7) (BASU; SHIVHARE; MUJUMDAR, 2006; MESSE, 2003⁸ citado por ASCHERI et al., 2009).

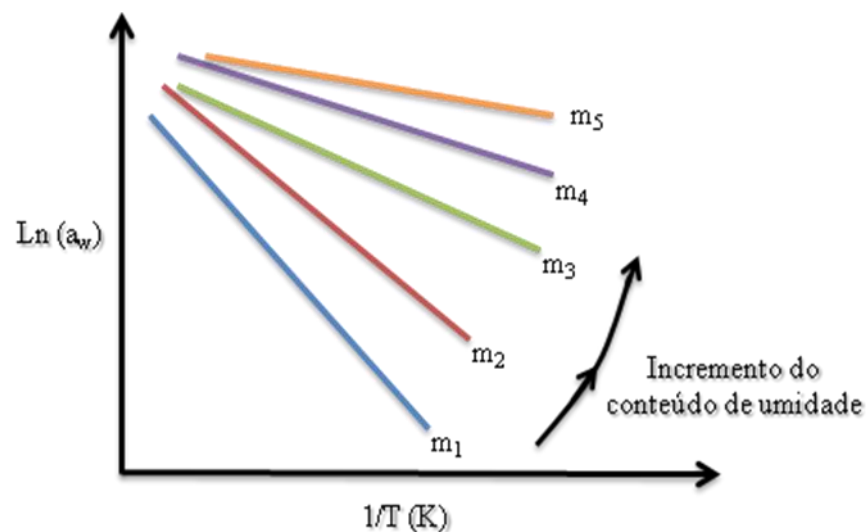
$$Q_{st} = q_s + \lambda \quad (6)$$

$$\lambda_{vap} = 44,72 - 0,03T - 9,2 \cdot 10^{-5} T^2 \quad (7)$$

Onde T é a temperatura, em graus centígrados;

O calor de sorção expressa o excesso de energia para a remoção da água e não existem na literatura dados sobre esta propriedade para diferentes alimentos. Portanto, para prever a a_w de um alimento a qualquer temperatura, a umidade de equilíbrio das isotermas de sorção devem ser determinadas pelo menos em duas temperaturas (VILLA-VÉLEZ et al., 2012). Assim, ao analisarmos graficamente $\log a_w$ vs. $1/T$, pode-se observar uma linha reta a um teor de umidade constante como mostra a Figura 6 e a partir daí determinar a a_w em qualquer temperatura a um conteúdo de umidade constante, pode ser encontrada (GARCÍA-PÉREZ et al., 2008; MULET et al., 1999).

Figura 6 - Tendência das linhas do gráfico $\log a_w$ vs. $1/T$ para a predição da a_w



Fonte: Barbosa-Cánovas et al. (2007).

⁸ MESSE, J. Y. **ThermExcel**. Issy Les Moulineaux: n. 45188030600019, 2003. Disponível em: <<http://www.thermexcel.com/english/index.htm>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

Para Simal et al. (2007) e Sánchez et al. (1997), a inclinação da reta linha (q_s/R) se reduz a zero com o incremento da umidade, sendo um indicativo da redução das interações da água, ou seja, menos energia de ligação com a superfície de adsorção, comportando-se mais como água pura.

Strumillo et al. (2006) dizem que calor isostérico de sorção é maior que o calor latente de vaporização da água pura a uma dada temperatura, sendo considerado um indicativo de forças de atração intermoleculares entre os sítios sortivos e a água.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matéria-prima e preparo das amostras

Para a pesquisa kiwis cv. Hayward (Figura 7) com teores de umidade de 86, 57% (base úmida) e sólidos solúveis de 13° Brix em média, foram adquiridos no mercado local da cidade de São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil, e conservados sob refrigeração a 4°C. Os frutos foram selecionados visualmente analisando-se cor, tamanho e grau de firmeza.

Figura 7 - kiwi *in natura*



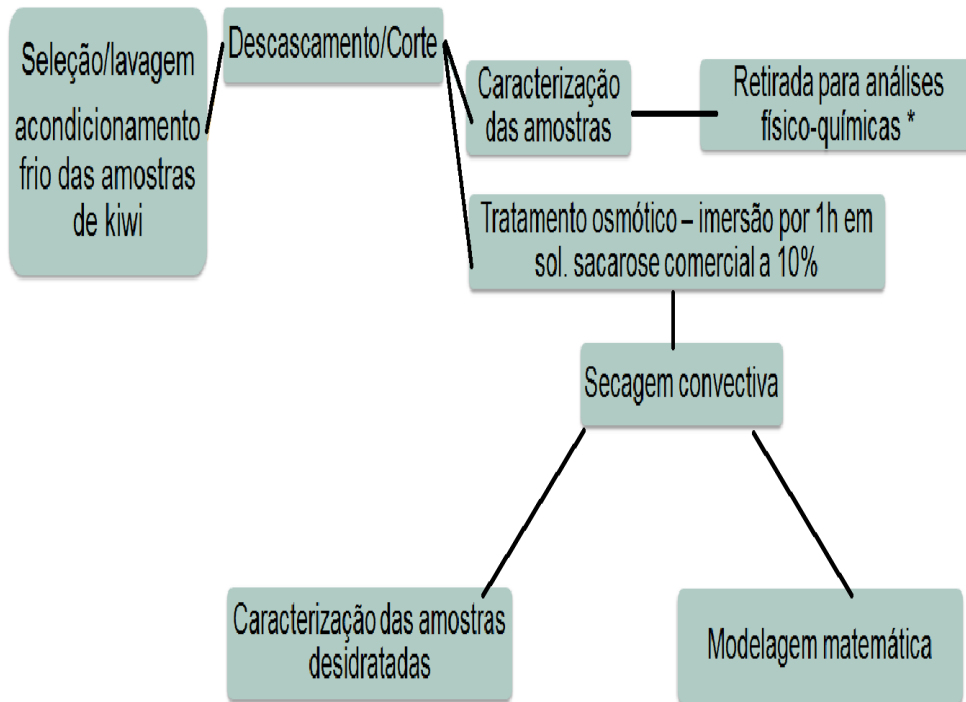
Fonte: Fotografado pela autora (2015).

4.1.1 Manuseio das amostras

A Figura 8 mostra o fluxograma das etapas no manuseio das amostras de kiwi antes e depois do tratamento osmótico. Os frutos foram medidos, selecionados, lavados e acondicionados para o experimento, em câmara fria a 4°C. Depois de secos foram embalados a vácuo para posteriores análises.

Os kiwis foram manualmente descascados e fatiados com o auxílio de um fatiador de aço inoxidável. As dimensões, espessura e diâmetro, foram medidas utilizando um paquímetro, Marca STARRETT modelo 125 MEA.

Figura 8 - Fluxograma do manuseio das amostras do kiwi antes e depois da desidratação osmótica



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.2 Tratamento Osmótico

O teor de sacarose para a solução osmótica foi escolhido mediante revisão bibliográfica com outras frutas para que a atividade de água do kiwi apresentasse valores menores durante o experimento (BORIN et al., 2008; PÉREZ et al., 2013)

O tratamento osmótico ocorreu da seguinte forma: os frutos após lavagem e seleção foram descascados e fatiados com espessura de cerca de 7 mm em fatiador de aço inoxidável e imersos em bandeja de plástico PET (Figura 8) com a solução de 10% de sacarose comercial, repousando por 1h e levados ao secador em três bandejas de aço de malha aberta de dimensões de 19x19cm cada. Todo experimento foi realizado à temperatura ambiente de 25°C (298,15K).

Figura 9 - kiwis imersos em solução osmótica de 10% de sacarose



Fonte: Fotografado pela autora (2015).

4.2 Isotermas, umidade de equilíbrio e atividade de água

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, SP. As fatias do kiwi foram previamente secas em estufa a 70°C por 24 h.

A umidade de equilíbrio do kiwi com e sem tratamento osmótico foram determinados pelo método gravimétrico estático (JOWITT et al., 1983) seguindo os procedimentos na obtenção das isotermas de dessecção nas temperaturas de 20, 30, 40 °C \pm 1°C. Dez soluções salinas saturadas (NaOH, LiCl, $K_2C_2O_4$, $MgCl_2$, K_2CO_3 , $Mg(NO_3)_2$, $NaNO_3$, NaCl, KCl e $BaCl_2$) foram colocadas em potes de plástico nas três temperaturas citadas (SPIESS; WOLF, 1983) para obtenção das umidades relativas entre 6,7 a 82,3%. Para a obtenção da condição de equilíbrio foram utilizados potes herméticos de plástico de 200 ml possuindo internamente um tripé construído em acrílico, que serviu de suporte para as amostras. Primeiramente, os potes foram limpos com algodão embebido em formol comercial a 40% a fim de evitar ou retardar possíveis contaminações da amostra. Cada pote recebeu cerca de 40 ml de solução salina saturada com 3 gotas de formol para inibir a atividade de fungos e a deterioração das amostras com teor de umidade superior a 0,5.

As soluções salinas saturadas foram distribuídas nos potes herméticos, os quais

correspondiam à faixa de atividade de água de 0,067 a 0,823. O kiwi *in natura* foi cortado em pedaços pequenos, de espessura entre 1 a 2 mm, distribuído em recipientes individuais dispostos nos potes herméticos. Cada pote comportava cinco recipientes contendo a amostra. As soluções salinas foram colocadas nos potes até uma altura de 1,5 cm a partir do fundo.

Os potes foram armazenados em câmara de demanda bioquímica de oxigênio B.O.D (Modelo TE-391, TECNAL, Brasil). Semanalmente, foram feitas medidas da massa em balança analítica de cada pote até obter massa constante. Realizaram-se pesagens semanais em balança analítica até que as amostras obtivessem variação de massa igual ou inferior a 0,1% (0,001 kg·kg⁻¹, b.s.). O tempo de equilíbrio requerido variou de 6 a 8 semanas. A umidade de equilíbrio foi determinada pelo método de estufa a vácuo (AOAC, 2000).

4.2.1 Medidas das isotermas

Os dados de umidade de equilíbrio versus atividade de água foram plotados em gráficos para as referidas amostras em função da temperatura. Ajustou-se os modelos de GAB, BET, Henderson, Oswin, Halsey e Iglesias-Chirife, conforme equações de 9 a 14 (Tabela 2), cujos parâmetros foram estimados pelo ajuste das equações nos dados experimentais utilizando a função “nlinfit” do Toolbox estatístico do programa Matlab ® 7.1 (The MathWorks Inc., Natick, MA, USA) considerando a opção de ajuste “robust”. Tal função usa o algoritmo de Gauss-Newton, com modificações Levenberg-Marquardt, que permite a interação constante dos valores recalculando o ajuste do modelo não linear por meio dos mínimos quadrados. Os intervalos de confiança de 95% para os parâmetros estimados dos modelos foram calculados usando “nlparci”, função do Toolbox Matlab.

Tabela 2 - Modelos matemáticos de ajuste das isotermas de sorção.

Fórmulas	Nome do modelo	Equação
$X_e = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w) [1 + (C - 1) K a_w]}$	Modelo de GAB (Guggenheim – Anderson - De Boer) (RIZVI, 2005)	(9)
$X_e = \frac{(X_m C a_w) [1 - (n + 1) a_w^n + n a_w^{n+1}]}{(1 - a_w) [(C - 1) a_w - (C a_w^{n+1})]}$	Modelo de BET (Brunauer, Emmett e Teller) (PARK et al., 2008)	(10)
$X_e = \left[\frac{\ln(1 - a_w)}{-A(B + T)} \right]^{\frac{1}{C}}$	Modelo de Henderson (HENDERSON, 1952)	(11)
$X_e = (A + BT) \left[\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^{\frac{1}{C}}$	Modelo de Oswin (CHINNAN, BEAUCHAT, 1985)	(12)
$X_e = \left[\frac{\exp(A - BT)}{-\ln(a_w)} \right]^{\frac{1}{C}}$	Modelo de Halsey (RIZVI, 2005)	(13)
$X_e = (A + BT) \left[\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right] + C$	Modelo de Iglesias e Chirife (IGLESIAS; CHIRIFE, 1995)	(14)

Fonte: Compilado pela autora.

Onde A , B e C são as constantes dos modelos empíricos (adimensionais); a_w é a atividade de água; X_e é o conteúdo de umidade de equilíbrio ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, b.s.); X_m é a umidade da monocamada do modelo de GAB ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, b.s.). Para o modelo teórico de GAB, as constantes C e K foram escritas de acordo com as equações 15 e 16, respectivamente:

$$C = C_0 \exp\left(\frac{H_m - H_n}{RT}\right) \quad (15)$$

$$K = K_0 \exp\left(\frac{\lambda - H_n}{RT}\right) \quad (16)$$

Onde C_0 e K_0 são os parâmetros do modelo de GAB (adimensionais); H_m e H_n são as entalpias de sorção da monocamada e multicamada ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$), respectivamente; λ é o calor de vaporização da água pura ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$); T é a temperatura (K) e R é a constante universal dos gases.

4.3 Cinética da secagem

4.3.1 Descrição do equipamento de secagem

A cinética de secagem foi realizada em secador de convecção forçada de ar quente, desenhado e fabricado por alunos, professores e técnicos da área de Engenharia de Alimentos da UNESP. O equipamento está situado na planta de secagem do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, UNESP/Câmpus de São José do Rio Preto.

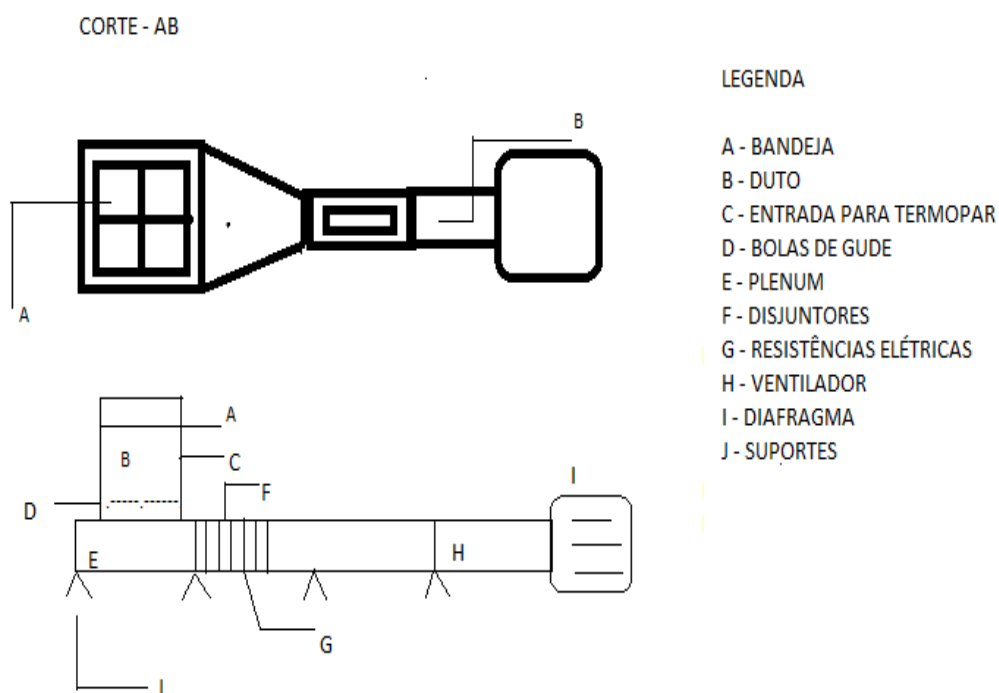
O secador de leito fixo é composto por um diafragma que regula a velocidade do ar, colocado na entrada do ventilador e tal velocidade é medida por um anemômetro portátil em tempos diferenciados da secagem. O aquecimento do ar é feito por seis resistências elétricas ligadas em paralelo com acionamento individual e uma resistência adicional ligada a um variador de voltagem para regulagem manual de temperatura. Um termopar portátil, para leitura da temperatura, é colocado em uma entrada no duto, acima de esferas de vidro que tem a função de homogeneização do fluxo de ar. As Figuras 10 e 11 representam a imagem real do secador de leito fixo e seu esquema, respectivamente.

Figura 10 - Secador de leito fixo – imagem real



Fonte: Fotografado pela autora (2015).

Figura 11 - Secador de leito fixo – esquema



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

4.3.2 Modelagem da cinética de secagem

Com as pesagens periódicas das massas das bandejas contendo o produto, foram determinadas curvas de umidade versus tempo. Primeiramente, pesou-se as bandejas sem as amostras e logo após, as amostras foram acomodadas nas bandejas iniciando-se as pesagens. Depois da obtenção das curvas e da caracterização dos períodos de secagem, foram feitos ajustes em diferentes modelos de secagem.

As bandejas foram pesadas em balança semi-analítica GEHAKA, modelo BG 4000, com precisão de $\pm 0,01$ g, antes e após a inserção das amostras, em intervalos de 5 minutos na primeira meia hora de secagem, em intervalos de 10 minutos no decorrer da próxima uma hora e meia, em intervalos de 30 minutos nas próximas três horas e meia e de uma em uma hora até que não houvesse variação de massa em cada bandeja.

As temperaturas de secagem utilizadas foram: 40°C , 50°C , 60°C e 70°C com variação de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ com fluxo de ar a $2,1 \pm 0,3 \text{ m.s}^{-1}$. Utilizaram-se três bandejas no secador (triplicatas), medindo 19 cm x 19 cm cada uma. As bandejas foram pesadas e colocadas no

secador com amostras de kiwi fatiadas pré-tratadas osmoticamente com solução de sacarose comercial a 10%, sendo a espessura das fatias de 7 mm. Foram feitas duas repetições para obtenção das curvas de secagem, pesou-se cerca de 170g de kiwi para cada bandeja.

O teor de umidade a cada intervalo de tempo foi calculado a partir da perda de massa e dos sólidos secos das amostras. A umidade do ambiente e das amostras foi monitorada por um higrômetro, marca MINIPAR, modelo MTH-1362 e a velocidade do ar, monitorada com anemômetro, marca INSTRUTERM, modelo TAD-500. A temperatura foi controlada utilizando-se termômetro digital, marca MINIPAR, modelo MT-455. As massas das amostras para cada tempo de secagem foram expressas em quilograma de água por quilograma de produto seco (kg.kg^{-1} , b.s.) através da umidade inicial do produto em base seca (AOAC, 2000).

As curvas de secagem foram simuladas pelo modelo empírico de Page, Page modificado, Henderson-Pabis, Henderson-Pabis modificado, Peleg, Newton e Difusivo (Equações 17-23) apresentadas na Tabela 3. Para isto, o ajuste das equações nos dados experimentais foi usado através da função “Nonlinear Curve Fit” do programa *OriginPro 8* (OriginLab Corporation, USA).

Tabela 3 - Modelos matemáticos de regressão não linear, avaliados para prever a secagem do kiwi pré-tratado osmoticamente com solução de sacarose a 10%.

Modelo	Equação
Page	$RX = \exp(-kt^n)$ (17)
Page modificado	$RX = \exp(-kt)^n$ (18)
Henderson-Pabis	$RX = a \exp(-kt)$ (19)
Henderson-Pabis modificado	$RX = a \exp(-kt) + b \exp(-k_1 t) + c \exp(-k_2 t)$ (20)
Peleg	$X = X_i - \frac{t}{k_1 + k_2 t}$ (21)
Newton	$RX = \exp(-kt)$ (22)
Difusivo	$RX = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right)$ (23)

Fonte: Compilado pela autora, adaptado de Prette (2012, p. 52).

$RX = [X - X_e / X_0 - X_e]$ - razão de umidade (adimensional);

X = umidade no tempo t de secagem (kg kg^{-1} , b.s);

X_0 = umidade inicial na secagem (kg kg^{-1} , b.s);

X_e = umidade de equilíbrio na secagem (kg kg^{-1} , b.s);

k, k_1, k_2 = constantes de velocidade de secagem (s^{-1});

n, a, b e c = constantes do modelo;

t = tempo decorrido durante a secagem (s^{-1});

D_{eff} = difusividade aparente ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$);

L = meia espessura da amostra (m);

n = número de termos da série;

Para o modelo teórico difusivo, considera-se o sólido (fatia do kiwi) como placa plana com ambas as superfícies expostas à solução osmótica, e sua difusividade efetiva seja constante, sua variação de volume e efeito do gradiente de temperatura no interior da amostra sejam desprezíveis (CRANK, 1975; GAMA et al., 2012). A difusividade é a facilidade com que a água é removida do material. Varia de acordo com as condições de secagem, tais como: temperatura e velocidade do fluxo de ar, não é intrínseca ao material, convencionou-se chamá-la de difusividade efetiva (SOUSA, 2003).

O coeficiente de difusão (D_{eff}) é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos que intervêm sobre a migração da água e depende da temperatura (MENEZES et al., 2013) e foi analisado pela equação de Arrhenius (Equação 24):

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (24)$$

Onde:

E_a – energia de ativação, kJ.mol^{-1}

R – constante universal dos gases, $8,314 \text{ kJ.kmol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

T – temperatura absoluta, K

Os coeficientes da expressão de Arrhenius foram linearizados com a aplicação do logaritmo segundo a Equação 25:

$$\ln D_{eff} = \ln D_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (25)$$

4.4 Avaliação estatística

Para a modelagem das isotermas de sorção e cinéticas de secagem o coeficiente de determinação (R^2) (Equação 26), o erro médio relativo (MRE) (Equação 27) e a raiz quadrada do erro médio ($RMSE$) (Equação 28) foram empregados para avaliar a precisão do modelo. O parâmetro estatístico R^2 define a eficiência do modelo com a variação dos dados e o MRE mede o erro padrão na estimativa dos dados simulados com os experimentais (SHESKIN, 2011). O $RMSE$ mostra as diferenças individuais entre a previsão do modelo e as observações.

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^N (y_k^* - \bar{y})^2}{\sum_{k=1}^N (y_k - \bar{y})^2} \quad (26)$$

$$MRE = \frac{100}{N} \sum_{k=1}^N \frac{|y_k - y_k^*|}{y_k^*} \quad (27)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k - y_k^*)^2} \quad (28)$$

Nas Equações acima, y representa os valores experimentais, y^* representa os valores estimados, \bar{y} é a média e N é o numero de valores experimentais.

4.5 Caracterização físico-química

Os parâmetros físico-químicos analisados no kiwi *in natura* foram sólidos solúveis (°Brix a 20°C), pH, teor de vitamina C e os macronutrientes: umidade, proteínas, lipídios (método de Blich Dyer – extração a frio), carboidratos, cinzas e valor energético, determinações segundo AOAC (2000), bem como determinou-se os perfis dos seguintes minerais, pela técnica espectrofotométrica de absorção atômica, acoplado a plasma induzido, após solubilização do resíduo mineral fixo (cinzas): cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg), potássio (K), Alumínio (Al), Cobre (Cu), manganês (Mn), sódio (Na) e zinco (Zn). Para as análises de espectrofotometria de absorção atômica, utilizou-se o aparelho marca VARIAN,

modelo 720-ES, acoplado a plasma induzido, no Laboratório de Química do Solo da Universidade Estadual do Maranhão, Câmpus Paulo VI, em São Luís-MA.

4.5.1 Solubilização do resíduo mineral fixo (cinzas)

Após a última etapa da determinação de cinzas (incineração), todo o material foi transferido dos cadinhos para frascos de erlenmeyer de 250 mL para solubilização das cinzas com HCl e HNO₃ concentrados e água destilada, e em seguida com HCl e HNO₃ diluídos (10%). Após essa etapa, cadinhos e frascos de erlenmeyer foram postos em chapa elétrica para evaporação do material dos cadinhos até a metade. As soluções dos cadinhos foram transferidas para frascos de erlenmeyer e estes permaneceram na chapa até que os volumes se reduzissem a 2 ou 3 mL. Depois de retirados da chapa e resfriados, foram adicionados a cada cadinho 20 mL de água destilada, filtrou-se em balões volumétricos de 100 mL e os volumes foram completados. Essas soluções foram levadas para análises dos micronutrientes minerais.

4.5.2 Carboidratos

A determinação do teor de carboidratos foi feita pela diferença do valor 100 subtraído do somatório dos valores já obtidos de umidade, cinzas, lipídios e proteínas.

4.5.3 Valor energético

A determinação do valor energético foi realizada através dos resultados obtidos pelos teores de proteínas (P), lipídios (L) e carboidratos (C) usando a Equação 29 (SANTOS et al., 2008) que expressa o cálculo em kcal/100g.

$$\text{Valor Energético}_{(kcal/100g)} = (P \times 4) + (L \times 9) + (C \times 4) \quad (29)$$

Onde:

P = valor da proteína (%);

L = valor de lipídios (%);

C = valor de carboidratos (%);

4 = fator de conversão em kcal determinado em bomba calorimétrica para proteínas e carboidratos;

9 = fator de conversão em kcal determinado em bomba calorimétrica para lipídios.

4.5.4 Sólidos solúveis

A percentagem de sólidos solúveis, em triplicata, foi obtida pela leitura direta no refratômetro em graus Brix, marca QUIMIS e posteriormente feita correção de temperatura para 20°C usando tabela do aparelho.

4.5.5 pH

O valor do pH em triplicata foi medido diretamente no pHmetro marca TECNAL, modelo Tec-3MP, previamente calibrado com solução de pH 4,0 e 7,0.

4.6 Vitamina C

A análise de vitamina C no kiwi in natura, após a osmose e desidratação seguiu o método da AOAC (2000) e o resultado dado em mg/100g de Ácido Ascórbico (AA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Medidas dos frutos

Os kiwis apresentaram cerca de 100g em peso, com $54,89 \pm 3,02$ mm de diâmetro e $65,11 \pm 3,2$ mm de altura (Figura 12).

Figura 12 - Medidas do kiwi *in natura*



Fonte: Fotografado pela autora (2015).

5.2 Pré-tratamento osmótico

O pré-tratamento apresentou kiwis com maior volume e aspecto pegajoso, devido ao ganho de sólidos durante o tempo na solução osmótica de sacarose comercial a 10%.

5.3 Cálculo das isotermas

A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros de ajustes dos dados aos diferentes modelos de isotermas descritos pelas equações de 9 a 14. A Figura 17 mostra o gráfico das curvas obtidas com os dados originais dos experimentos.

Tabela 4- Parâmetros dos modelos de isotermas e das análises estatísticas obtidos nos ajustes dos dados experimentais do kiwi com e sem tratamento osmótico

<i>Kiwi</i>	<i>Modelo</i>	<i>Parâmetros</i>	<i>Valor</i>	<i>I.C (95%)</i>	<i>R²</i>	<i>RMSE</i>
Com tratamento osmótico	GAB	X_m	7,381	3,566 – 11,196	0,981	1,507
		C_{G0}	$4,715 \cdot 10^{-6}$	$-1,996 \cdot 10^{-6} - 2,939 \cdot 10^{-5}$		
		K_{G0}	31,710	-53,782 – 117,200		
		H_m	5122,1	5119,5 – 5125,6		
		H_n	2924,9	2564,7 – 3285,2		
	Halsey	A	9,641	8,452 – 10,831	0,980	1,517
		B	$-2,046 \cdot 10^{-2}$	$-2,411 \cdot 10^{-2} - 1,681 \cdot 10^{-2}$		
		C	1,465	1,399 – 1,531		
	Iglesias & Chirife	A	33,390	20,817 – 45,963	0,952	2,393
		B	-0,090	-0,131 – -0,048		
		C	5,794	4,778 – 6,809		
	Oswin	A	74,737	55,215 – 94,260	0,966	2,001
		B	-0,199	-0,263 – -0,135		
		C	1,987	1,807 – 2,168		
	Sem tratamento osmótico	GAB	X_m	6,993	6,991 – 6,995	0,980
C_{G0}			$1,335 \cdot 10^{-9}$	$-1,399 \cdot 10^{-10} - 2,810 \cdot 10^{-9}$		
K_{G0}			139,72	139,71 – 139,72		
H_m			6506	6506 – 6506		
H_n			3130,1	3130,1 – 3130,1		
Halsey		A	7,543	6,489 – 8,597	0,980	1,396
		B	$-1,332 \cdot 10^{-2}$	$-1,659 \cdot 10^{-2} - 1,006 \cdot 10^{-2}$		
		C	1,498	1,436 – 1,560		
Iglesias & Chirife		A	13,881	0,563 – 27,199	0,943	2,359
		B	-0,027	-0,071 – 0,017		
		C	5,867	4,791 – 6,942		
Oswin		A	47,414	29,307 – 65,521	0,969	1,739
		B	-0,109	-0,169 – -0,050		
		C	2,047	1,865 – 2,228		

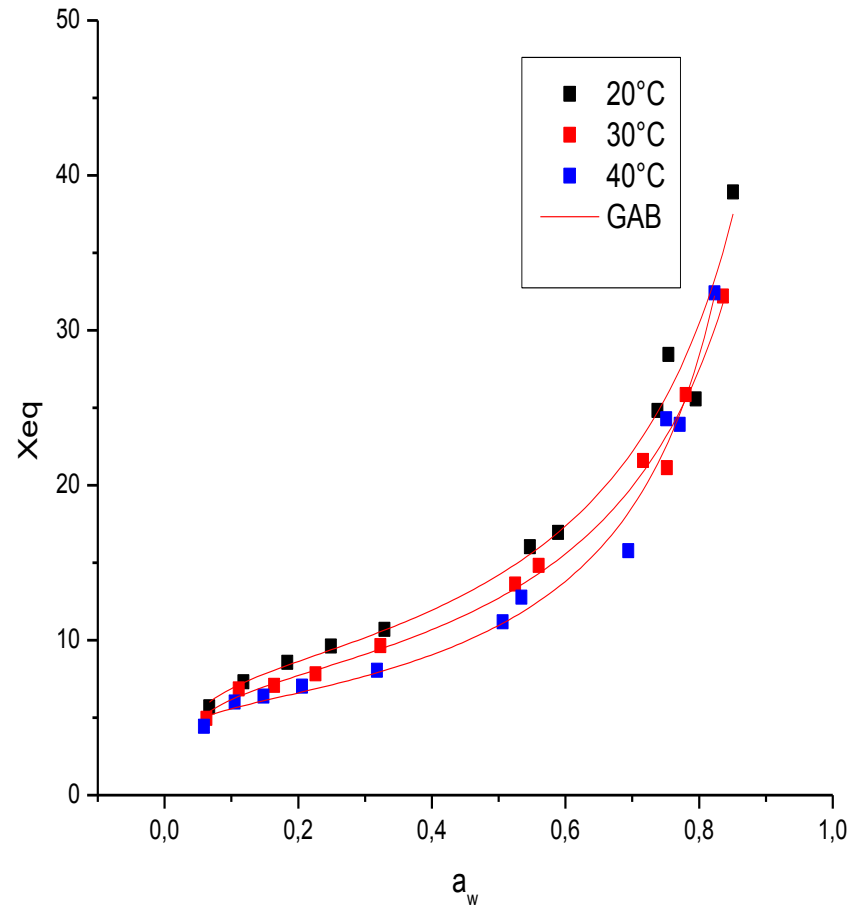
Fonte: Compilado pela autora.

O modelo de GAB (Figuras 13 e 14) foi o que apresentou o melhor ajuste, com valores de coeficiente de correlação R^2 variando de 0,98 a 0,99 sem tratamento osmótico e de 0,99 com tratamento osmótico, além do valor de RMSE variando de 1,40% em amostras sem tratamento osmótico e de 1,507% para amostras com tratamento osmótico.

O parâmetro X_m diminui com o aumento da temperatura nas amostras sem e com tratamento osmótico, resultados análogos foram encontrados em Lahsasni et al. (2002)

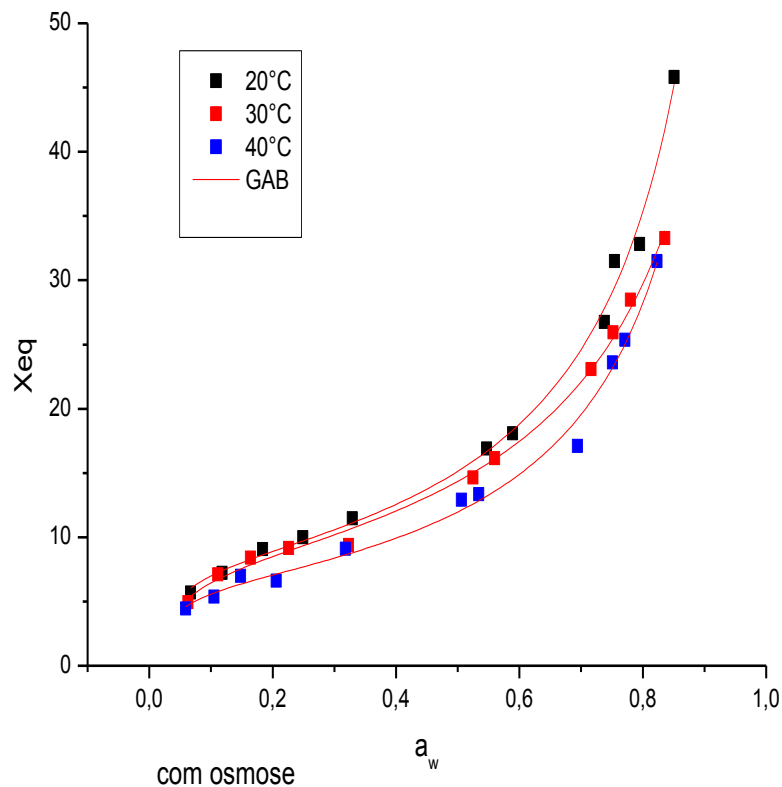
estudando os levantamentos das isotermas de dessorção da fruta da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*).

Figura 13 - Isotermas de sorção das amostras de kiwi sem tratamento osmótico ajustadas pelo modelo de GAB



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Figura 14 - Isotermas de sorção das amostras de kiwi com tratamento osmótico ajustadas pelo modelo de GAB



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

O comportamento das isotermas encontradas é do tipo II, sigmoidal, podendo ser devido à adição da sacarose (ganho de sólidos), de acordo com a classificação de Van der Wall (Brunauer et al., 1940), mostrando tendência assintótica conforme a atividade de água aumenta. Comportamento análogo foi encontrado por Alexandre et al. (2009) na obtenção de isotermas de adsorção de umidade de pitanga em pó, assim como Kohayakawa et al. (2001) na obtenção de isotermas do kiwi sem tratamento osmótico, Gonçalves et al. (2014) na obtenção de isotermas dos subprodutos da uva e Souza (2015) nas isotermas de semente de maracujá.

A Tabela 5 mostra os valores das atividades de água para as amostras do kiwi sem tratamento osmótico e com tratamento osmótico.

Tabela 5 - Isotermas de sorção experimentais de kiwi com e sem tratamento osmótico

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>a_w</i>	<i>Tratamento osmótico</i>	<i>Sem tratamento osmótico</i>
20	0,000	0,000	0,000
	0,067	5,694	5,694
	0,118	7,223	7,313
	0,184	9,071	8,561
	0,249	9,992	9,614
	0,329	11,471	10,681
	0,547	16,901	16,035
	0,589	18,076	16,937
	0,738	26,756	24,821
	0,754	31,491	28,427
	0,795	32,806	25,563
	0,851	45,818	38,932
30	0,000	0,000	0,000
	0,063	4,941	4,941
	0,111	6,851	6,851
	0,164	7,089	7,089
	0,226	7,814	7,814
	0,323	9,648	9,648
	0,525	13,616	13,616
	0,56	14,820	14,820
	0,716	21,577	21,577
	0,752	21,139	21,139
	0,78	25,852	25,852
	0,836	32,216	32,216
40	0,000	0,000	0,000
	0,059	4,435	4,435
	0,105	5,997	5,997
	0,148	6,389	6,389
	0,206	7,027	7,027
	0,318	8,044	8,044
	0,506	11,186	11,186
	0,534	12,781	12,781
	0,694	15,782	15,782
	0,751	24,28	24,280
	0,771	23,911	23,911
	0,823	32,399	32,399

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Os valores de atividade de água para as três temperaturas encontram-se bem próximos uns dos outros, verificando-se com isso, pouco efeito da temperatura nas isotermas, devido à pequena variação nos níveis das mesmas (20, 30 e 40°C).

Tais temperaturas podem ser úteis, caso seja necessário adicionar nutrientes do resíduo por micro-organismos. Sabe-se que a diminuição da umidade de equilíbrio com o aumento da

temperatura pode ser justificada mediante o aumento da pressão de vapor da água no ar e na superfície do produto (OLIVEIRA; OLIVEIRA; PARK, 2006). Segundo Ferreira e Pena (2003), tal aumento é maior na superfície do produto, onde há maior número de moléculas de água que o ar. Assim sendo, a maior pressão de vapor implicará em maior perda de água para atingir o equilíbrio.

5.4 Umidade de equilíbrio

A Tabela 6 mostra os valores obtidos da umidade de equilíbrio atingida nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C após a secagem do kiwi pré-tratado, calculados a partir da Equação 26. Esses valores correspondem à umidade limite a que um sólido pode ser seco para uma determinada condição de temperatura e umidade relativa do ar (PACHECO, 2005). Na secagem a 40°C a umidade relativa média do ar foi de 86,5%, e na secagem a 60°C, de 85,8%, assim observa-se que as condições de UR do ar durante os testes foram similares. As cinéticas determinadas para as temperaturas de 50°C e 70°C foram feitas em condições similares desta variável (85,1 % e 84,4%, respectivamente).

Os resultados são similares aos resultados obtidos por Azoubel et al. (2008), para a secagem da manga, variedade *Tommy Atkins*. O aumento da temperatura com velocidade fixa do ar diminui a umidade da fruta para um mesmo tempo de secagem.

Tabela 6 – Umidade relativa do ar, umidade de equilíbrio do kiwi segundo a equação descrita em CASTIGLIONI et al., 2013 (Equação 26)

Temperatura (°C)	Temperatura (K)	UR do ar	a	B	Umidade de equilíbrio
40	313,15	0,865	2,008	0,0079	0,0559
50	323,15	0,852	1,909	0,0071	0,0548
60	333,15	0,858	1,954	0,0073	0,0545
70	343,15	0,844	1,859	0,0076	0,0542

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Com base nos valores de umidade de equilíbrio e tempo de secagem, observa-se na Tabela 7, que foram obtidas umidades de equilíbrio menores para as maiores temperaturas, isso se deve ao fato de nas maiores temperaturas a umidade relativa do ar ser menor, aumentando a transferência de massa (umidade) da semente para o ar, conseqüentemente

reduzindo o tempo necessário para se atingir o equilíbrio, evidenciando uma maior velocidade de retirada de água (ALMEIDA et al., 2015).

Tabela 7 - Umidade de equilíbrio alcançada para cada temperatura de secagem

Temperatura (°C)	40	50	60	70
Xeq	0,0559	0,0548	0,0545	0,0542
T (s)	30600	20000	18000	10800

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

A maior redução de umidade foi apresentada nas temperaturas de 50°C para 60°C, cerca de 90% e a menor redução foi na faixa de 40°C para 70°C.

A Tabela 8 mostra os valores de umidade para a curva de secagem das amostras de kiwi com pré tratamento osmótico, em base seca.

Tabela 8 – Teores de umidade do kiwi pré-tratado com solução de sacarose a 10% e seco com velocidade do ar de 2,1 m.s⁻¹

Tempo (s)	*Curva de secagem (Kg.Kg⁻¹, b.s)			
	40°C	50°C	60°C	70°C
0	6,575	6,029	6,247	5,422
300	6,315	5,848	5,951	5,034
600	6,186	5,641	5,689	4,744
900	6,063	5,475	5,465	4,481
1200	5,900	5,258	5,202	4,165
1500	5,643	5,066	4,994	3,880
1800	5,574	4,888	4,761	3,607
2400	5,290	4,548	4,229	3,131
3000	5,030	4,213	3,761	2,688
3600	4,739	3,898	3,368	2,301
4200	4,520	3,618	2,983	1,961
4800	4,314	3,357	2,637	1,647
5400	4,046	3,105	2,339	1,415
6000	3,867	2,892	2,100	1,185
6600	3,675	2,677	1,850	0,981
7200	3,500	2,520	1,677	0,792
9000	3,081	2,033	1,280	0,368
10800	2,701	1,648	0,687	0,113
12600	2,398	1,324	0,450	0,024

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Pelos valores de umidade final do kiwi pré-tratado osmoticamente, em torno de 5% (b.s), o produto é caracterizado como parcialmente desidratado segundo Brasil (2005a).

5.5 Curvas de secagem

A Figura 15 mostra os aspectos físicos dos kiwis antes da secagem. A Figura 16 mostra os aspectos físicos dos kiwis após desidratação osmótica, onde se observa aspectos semelhantes às frutas desidratadas industrialmente.

Figura 15 - Kiwis antes da secagem



Fonte: Fotografado pela autora (2015).

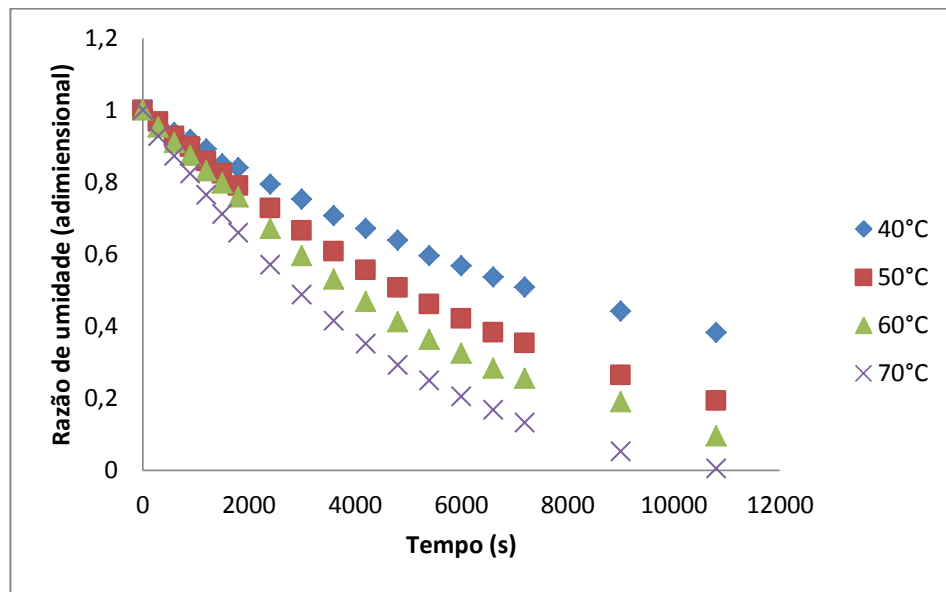
Figura 16 - Kiwis antes e depois da secagem (sentido horário: a, b e c)



Fonte: Fotografado pela autora (2015).

A Figura 17 mostra o gráfico de umidade (RX, adimensional) em função do tempo de secagem nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C, todos em base seca.

Figura 17 - Teor de umidade em função do tempo de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose a 10% por 1h às temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

À temperatura de 40°C a razão de umidade foi zerada após 8,5h ou 30600s; a 50°C em 5,5h ou 20000s; a 60°C em 4,0h ou 18000s e a 70°C em 2,5h ou 10800s.

Alexandre et al. (2009) encontraram tempo de secagem acima de 36000s para fatias de abacaxi com 1,0 cm de espessura sem tratamento osmótico. A redução no tempo de secagem provocada pelo aumento de temperatura entre 50°C e 60°C foi de 90% e entre 40°C e 70°C de 35%. Outros trabalhos utilizando cinética de secagem de sementes de crambe em estufa com ventilação forçada encontraram tempos de secagem de 75000s, 30600s, 18000s e 9900 min para as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C (COSTA et al., 2011), respectivamente.

Dessa forma, evidencia-se que o aumento de temperatura do ar de secagem é inversamente proporcional à diminuição nos tempos de secagem. Essa redução nos tempos de secagem com o aumento de temperatura é previsível para produtos agrícolas, de acordo com trabalhos da literatura tal como Park et al. (2001), na secagem de peras, Shigematsu et al. (2005) na secagem de carambola com pré-tratamento osmótico, Furtado et al. (2010) em

secagem de seriguela entre 60 e 80°C, Hii, Law e Cloke (2009) em secagem de cacau a 60, 70 e 80°C, Ayala-Aponte, Serna Cock e Rodriguez (2012) em secagem de pitaias amarelas, Oliveira et al. (2015) em secagem de morangos e Madureira et al. (2011) em secagem de polpa de figo-da-índia.

5.5.1 Modelagem matemática para a cinética de secagem

Os modelos empíricos de Peleg, Henderson e Pabis, Henderson e Pabis modificado, Page, Page modificado e Newton (Equações de 17 a 23) foram utilizados para o ajuste das curvas experimentais e o entendimento da cinética de secagem. As análises de regressão foram realizadas pelo programa Origin 8.

A Tabela 9 mostra os valores obtidos dos ajustes matemáticos por esses modelos.

Em termos do coeficiente de determinação, todos os modelos ajustados representaram bem a cinética de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%. Em todos os casos $R^2 \geq 0,98$ além de apresentarem baixos valores de MRE (< 1) também observado por Menezes et al., (2013), Alexandre et al. (2009) em secagem de fatias de abacaxi, Telis et al., (2006) na secagem de uvas pré-tratadas quimicamente, Simal et al. (2005) em kiwi em cubos desidratados e de fatias de cajá desidratado em secador de bandejas nas temperaturas e Silva et al. (2004) em fatias de cajá desidratado.

Neste trabalho, os valores do parâmetro “n” do modelo de Page variaram de 0,95 a 1,26 mostrando uma boa representação dos dados experimentais. Na desidratação de fatias de kiwis sem casca, Simal et al., (2005) obtiveram valores do parâmetro “n” do modelo de Page de 0,796, independentemente da temperatura de secagem e da geometria do corte.

Resultados similares foram encontrados por Azzouz et al. (2002) para a secagem de uvas, concluindo que “n” é função da velocidade do ar de secagem e da umidade inicial do produto, enquanto o parâmetro “k” é função dessas duas variáveis além da temperatura de secagem. Waughon e Pena (2008) obtiveram excelentes precisões com o uso do modelo de Page na predição dos dados de secagem da fibra residual do abacaxi em camada delgada.

Tabela 9 – Valores obtidos dos ajustes matemáticos

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros									
		a	b	C	X0	k	k1	k2	n	R ²	MRE
Page	40	-	-	-	-	2,185.10 ⁻⁴	-	-	0,903	0,998	0,015
	50	-	-	-	-	1,425.10 ⁻⁴	-	-	0,961	0,996	0,007
	60	-	-	-	-	1,408.10 ⁻⁴	-	-	1,017	0,997	0,022
	70	-	-	-	-	0,883.10 ⁻⁴	-	-	1,019	0,976	0,065
Page Modificado	40	-	-	-	-	1,020	-	-	0,999	0,995	0,007
	50	-	-	-	-	1,760	-	-	110,383	0,999	0,004
	60	-	-	-	-	1,171	-	-	109,735	0,997	0,007
	70	-	-	-	-	7,550	-	-	0,981	0,978	0,019
Peleg	40	-	-	-	6,517	-	809,004	0,116	-	0,995	0,077
	50	-	-	-	6,983	-	1000,508	0,116	-	0,978	0,023
	60	-	-	-	6,693	-	1497,197	0,126	-	0,998	0,037
	70	-	-	-	6,385	-	1342,597	0,118	-	0,999	0,015
Henderson e Pabis	40	1,032	-	-	-	8,642.10 ⁻⁵	-	-	-	0,995	0,004
	50	1,032	-	-	-	9,889.10 ⁻⁵	-	-	-	0,999	0,007
	60	1,033	-	-	-	16,340.10 ⁻⁵	-	-	-	0,997	0,019
	70	0,991	-	-	-	11,071.10 ⁻⁵	-	-	-	0,978	0,971
Henderson e Pabis Modificado	40	0,333	0,333	-	-	1,634.10 ⁻⁴	1,634.10 ⁻⁴	9,00. 10 ⁻⁵	-	0,997	1,143
	50	0,663	0,019	-	-	1,223.10 ⁻⁴	-1,832.10 ⁻⁴	0,16.10 ⁻⁵	-	0,989	0,294
	60	0,481	0,135	-	-	0,758. 10 ⁻⁴	3,562.10 ⁻⁴	0,12. 10 ⁻⁵	-	0,997	0,087
	70	0,113	0,447	-	-	2,878. 10 ⁻⁴	0,9007.10 ⁻⁴	7,58. 10 ⁻⁵	-	0,999	0,270.10 ⁻⁴
Newton	40	-	-	-	-	1,10.10 ⁻⁴	-	-	-	0,999	0,002
	50	-	-	-	-	1,64.10 ⁻⁴	-	-	-	0,997	0,006
	60	-	-	-	-	1,05.10 ⁻⁴	-	-	-	0,976	0,054
	70	-	-	-	-	0,10.10 ⁻⁴	-	-	-	0,979	0,028

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

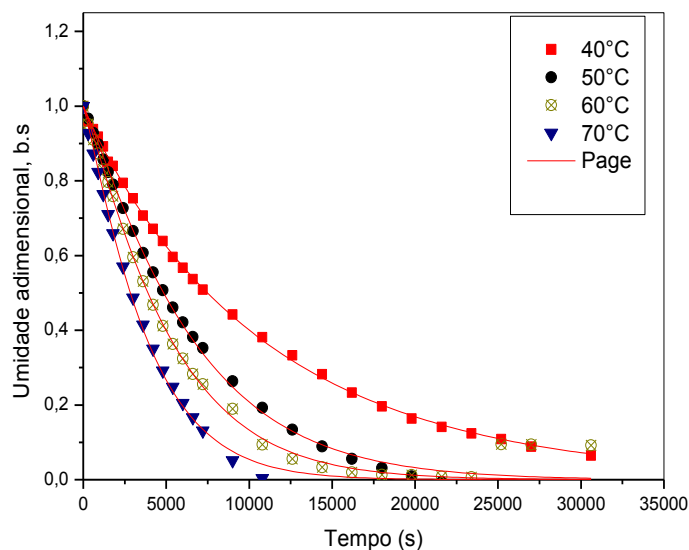
Doymaz (2007) utilizou o modelo de Page para desidratação de tomates, apresentando um bom ajuste aos dados experimentais de secagem a 55-70 °C, sendo encontrado n de 1,1876 e k de 0,0006 para a temperatura de 70 °C. Karathanos e Belessiotis (1999) estudaram desidratações em groselhas, figos e ameixas e observaram que o valor de n aumenta quando as frutas são desidratadas com casca ou pele. A Figura 18 mostra o ajuste do modelo empírico de Page para as amostras de kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10% nas quatro diferentes temperaturas estudadas.

Os valores da constante “k” para os modelos de Page aumentaram com o aumento da temperatura. Salienta-se, também, que os valores encontrados para as equações de Page Modificado e Henderson e Pabis foram iguais neste experimento.

Houve um aumento da constante “k” no modelo de Henderson e Pabis (Figura 19), com valores que variaram de $8,642 \cdot 10^{-5}$ a $11,071 \cdot 10^{-5}$, significando que tal parâmetro deve ter uma relação funcional com a temperatura do ar de secagem com a vazão mássica do ar, ou com ambas (GUEDES; FARIA, 2000).

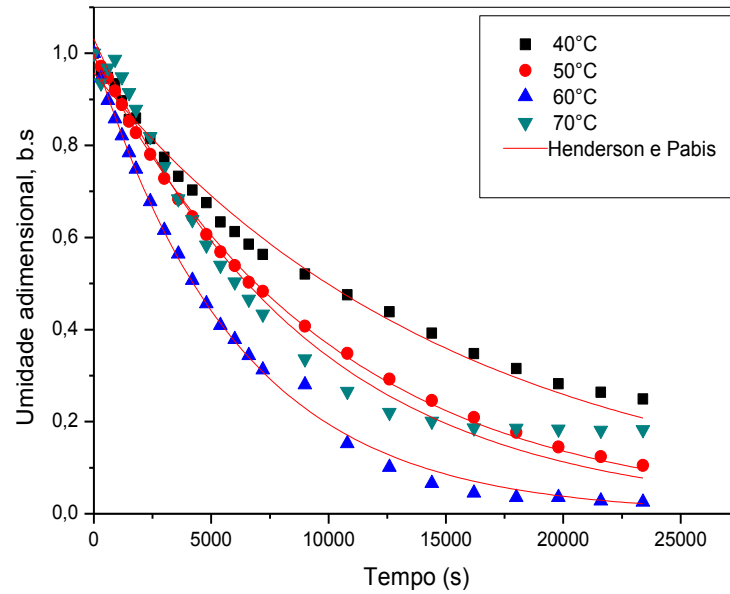
Valores semelhantes foram encontrados utilizando o modelo de Newton (Figura 20) em Resende et al. (2015) para o fruto do buriti e em sementes de crambe (COSTA et al., 2015).

Figura 18 – Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Page nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C



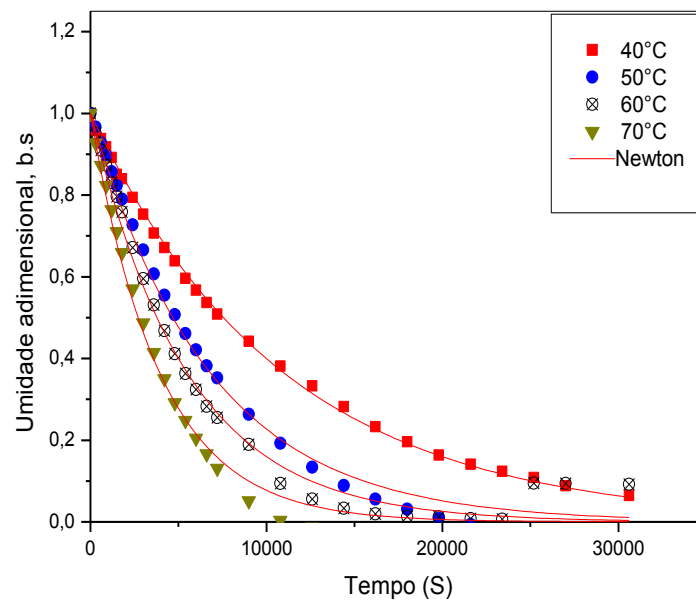
Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Figura 19 – Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Henderson e Pabis nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

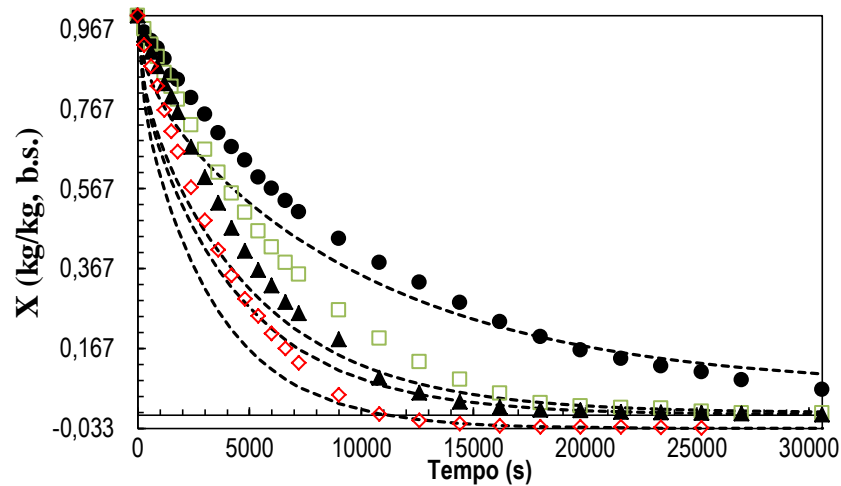
Figura 20 – Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Newton nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Observa-se que os ajustes feitos pelo modelo difusivo (Figura 21) aplicado às amostras de kiwi desidratado osmoticamente corresponderam satisfatoriamente durante a secagem.

Figura 21 – Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo difusivo nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

A difusividade efetiva das amostras do kiwi com desidratação osmótica apresentou valores que variaram de $4,84 \cdot 10^{-10}$ a $14,4 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, observados segundo a Tabela 10, onde estão os valores de R^2 e MRE das amostras nas diferentes temperaturas de acordo com o modelo difusivo.

Tabela 10 – Valores da difusividade, R^2 e erro médio relativo (MRE) das amostras de kiwi desidratadas osmoticamente

T (°C)	Def ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	R^2	MRE (%)
40	$4,847 \cdot 10^{-10}$	0,987	15,701
50	$9,485 \cdot 10^{-10}$	0,963	30,607
60	$11,03 \cdot 10^{-10}$	0,971	23,564
70	$14,42 \cdot 10^{-10}$	0,971	19,681

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

A tabela mostra um aumento da difusividade mediante o aumento da temperatura, demonstrando que essa propriedade representa a velocidade com que a água está migrando do interior para a superfície do material, sendo então vaporizada (MENEZES et al., 2013) e que

ainda está dentro da faixa de valores para materiais alimentícios, que é de 10^{-11} a 10^{-9} $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$, de acordo com Madamba (2003). Outros trabalhos encontraram valores semelhantes de Def tais como Wang et al. (2007) na secagem de maçãs; Nguyen e Price (2007) na secagem de bananas.

A Tabela 11 mostra os valores dos parâmetros resultantes dos ajustes dos dados da difusividade efetiva em função da temperatura. O valor da energia de ativação, (3,077 J/mol) foi similar ao encontrado por Simal et al (2005) em amostras de kiwi sem tratamento osmótico.

Tabela 11 - Relação exponencial do D_{eff} em função da temperatura

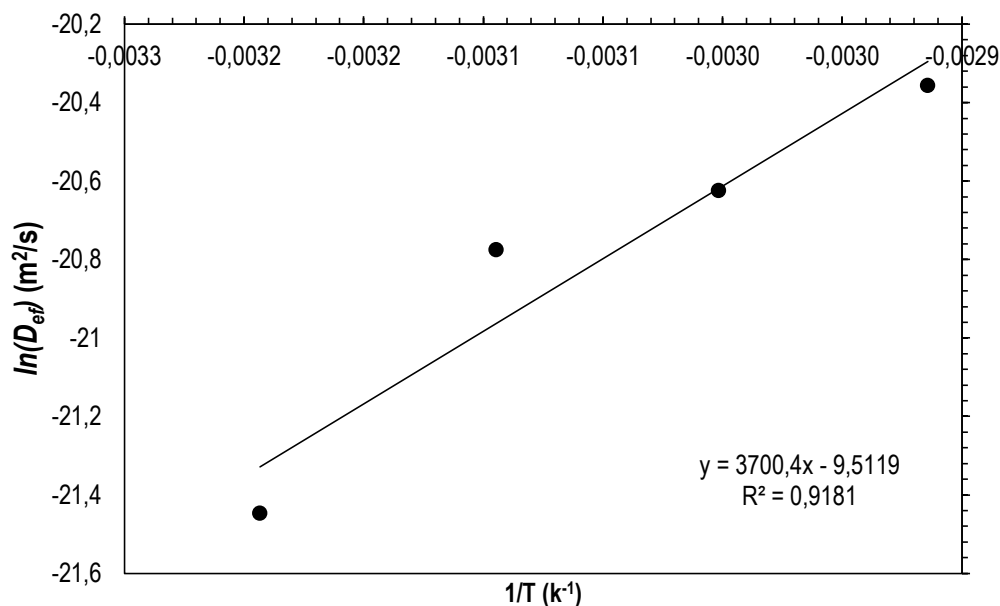
	$D_0 \cdot 10^{-8}$ ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)	E_a (J/mol)	R^2
Fick	1,09	$3,077 \cdot 10^4$	0,97

Fonte: Compilado de Chaguri et al. (2014, p. 6).

De acordo com os resultados, verifica-se que o modelo difusivo (Equação da difusão de Fick) para placa plana, representou com exatidão o processo de secagem nas amostras de kiwi com pré-tratamento osmótico, com valores de R^2 superiores a 96%, além de ratificar que o valor de Def é influenciado pela temperatura do ar de secagem, concordando com resultados similares encontrados por Babalis e Belessiotis (2004) na secagem de figos e de Zogzas, Maroulis e Marinos-Kouris (1996) para alimentos.

Com a linearização da equação de Arrhenius (Figura 22), obteve o valor da energia de ativação para as amostras de kiwi que foi $3,07 \cdot 10^4 \text{ J.mol}^{-1}$, nos processos de secagem, quanto menor for a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto (CORRÊA et al., 2010) e um ajuste linear satisfatório com coeficiente de determinação superior a 97%. Para Murakami et al. (1996) valores desta ordem de difusividade em alimentos com alto conteúdo de água (> 70%) é aceitável.

Figura 22 – Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão, em função da temperatura do ar de secagem de kiwis com pré-tratamento osmótico nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

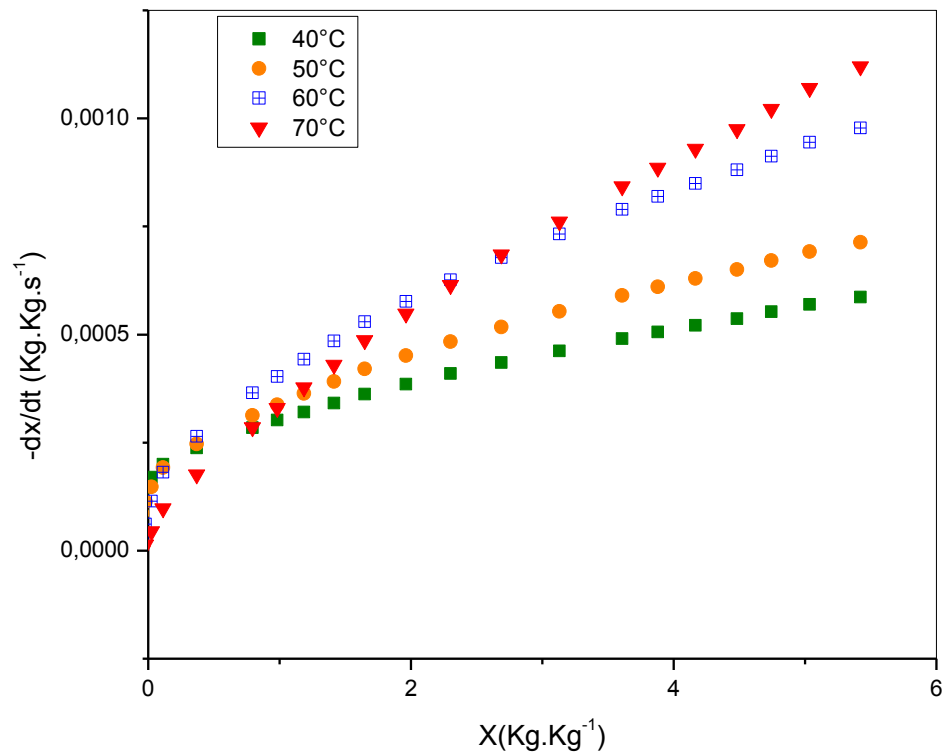
As Figuras de A1 a A3 (Apêndice) mostram os gráficos das curvas de secagem com os ajustes dos modelos de Peleg, Page Modificado e Henderson-Pabis Modificado.

Na Figura 23, observa-se, no geral, o comportamento de taxa de secagem decrescente. Isto demonstra que a difusão é provavelmente o mecanismo físico que governa o movimento da água no fruto. Essas taxas foram calculadas em função do conteúdo de umidade do kiwi pré-tratado com solução de sacarose a 10%.

O comportamento de secagem pode apresentar taxas de secagem constante e/ou decrescente. Para produtos biológicos, o comportamento é geralmente, decrescente. Esse comportamento é determinado pela migração interna de umidade (BENDLIN, 2003; PARK; BIN; BROD, 2002).

A evaporação da água dentro do alimento é influenciada por diversos fenômenos, como: capilaridade, ligação físico-química da água às substâncias sólidas presentes no alimento, migração de solutos, deformação do produto, entre outros; estes fenômenos oferecem grande resistência (BENDLIN, 2003). Pena et al., (2008), na secagem da fibra residual do maracujá, e Azoubel et al. (2009), na secagem de caju com e sem pré-tratamento osmótico, observaram também taxas de secagem decrescentes.

Figura 23 - Taxa de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

5.6 Cálculo das propriedades termodinâmicas

As Figuras 24 e 25, respectivamente, mostram que o calor isostérico diminui com o aumento da umidade de equilíbrio, considerando as temperaturas mínimas e máximas (20°C e 40°C), tal comportamento indica que há forte interação entre a água e os componentes das amostras de kiwi, pois essa propriedade representa a energia necessária para remover água dos alimentos. O elevado valor de calor líquido de sorção de água a baixos teores de umidade indica interações fortes dos componentes água-alimento no fruto (KOHAYAKAWA et al., 2001).

O calor isostérico líquido de dessorção de água (qst) para o kiwi sem tratamento osmótico (Figura 24) mostra a quantidade de calor necessária para remover água de um alimento a partir do conteúdo de umidade na faixa de 0 - 2,0 kg/kg de base seca. À medida que o teor de umidade aumenta estes locais disponíveis para sorção de água são reduzidos, resultando em valores mais baixos de qst.

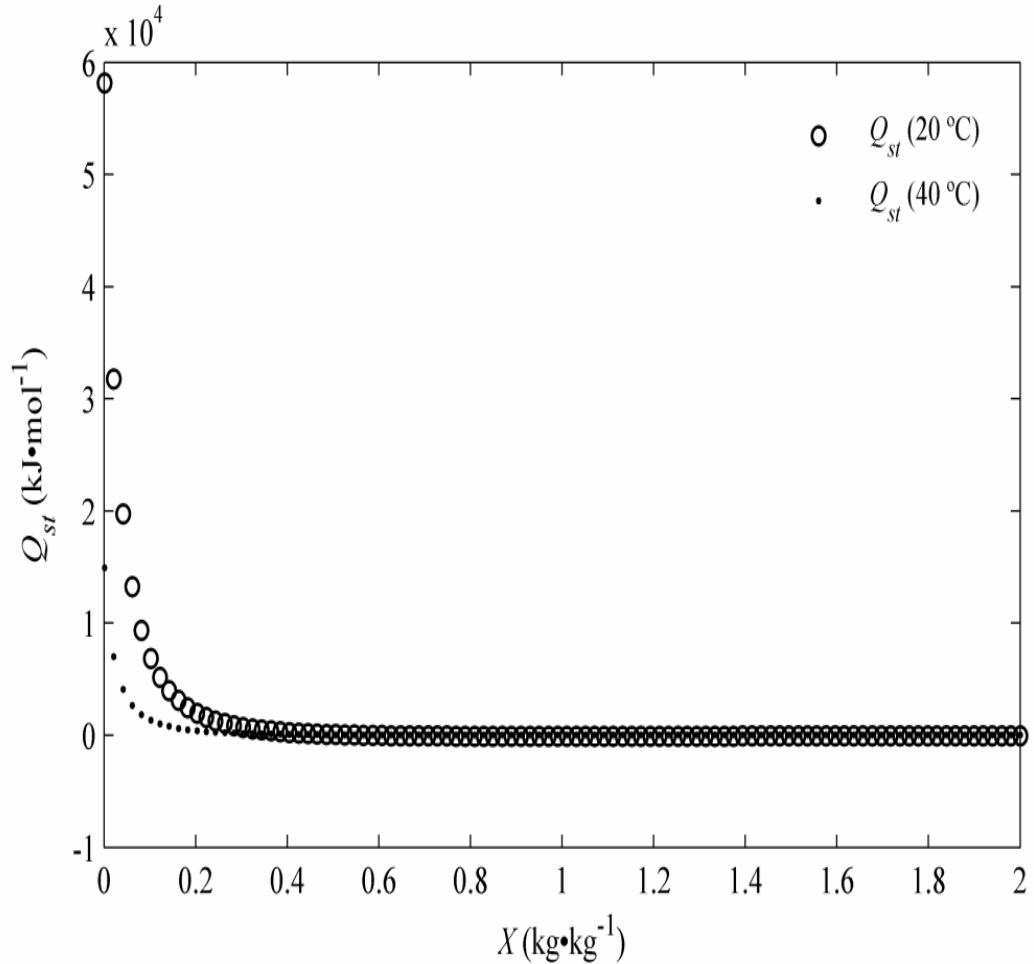
De acordo com as Figuras 24 e 25, em teores de umidade inferiores a 0,4 kg/kg, o aumento do calor isostérico líquido de dessorção de kiwis deve ser considerado no cálculo da necessidade de energia no processo de secagem, pois estabelece a quantidade de energia que deve ser fornecida ao produto durante a dessorção (secagem), de acordo com o teor de água. Segundo Rucklod et al. (2003)⁹ citado por Moreira Costa et al. (2015), este valor não é constante, nem igual ao calor latente de vaporização da água pura, mas é uma função do teor de água e da temperatura, variando ao longo do processo de secagem.

Os valores iniciais do calor isostérico de sorção podem ter sido resultado da quimissorção dos grupos polares (VILLA-VÉLEZ, 2011), descrita por Youssef et al. (2004) como a adsorção química onde são formadas ligações químicas entre as moléculas de adsorvente e adsorvato, envolvendo a transferência de elétrons. A adsorção química somente acontece em uma única camada (monocamada) e é praticamente irreversível, sendo o calor de adsorção da mesma ordem de grandeza dos calores de reação. A variação de entalpia é positiva, indicando então que o processo é endotérmico, ou seja, um aumento na temperatura favorece a adsorção (YOUSSEF; EL-NABARAWY; SAMRA, 2004).

O calor isostérico líquido de sorção relatado neste trabalho são comparáveis aos relatados para frutos secos (TSAMI, 1991), maçãs (ROMAN; URBICAIN; ROTSTEIN, 1982), damascos (SARAVACOS; TSIOURVAS; TSAMI, 1986) e uvas cv.. Itália (GABAS; TELIS-ROMERO; MENEGALLI, 1999), kiwis sem tratamento osmótico (KOHAYAKAWA et al., 2001) e figos (ANSARI et al., 2011).

⁹ RUCKLOD, S. et al. The energy of interaction between water and surfaces of biological reference materials. **Food Chemistry**, London, v. 82, n. 1, p. 51-59, 2003.

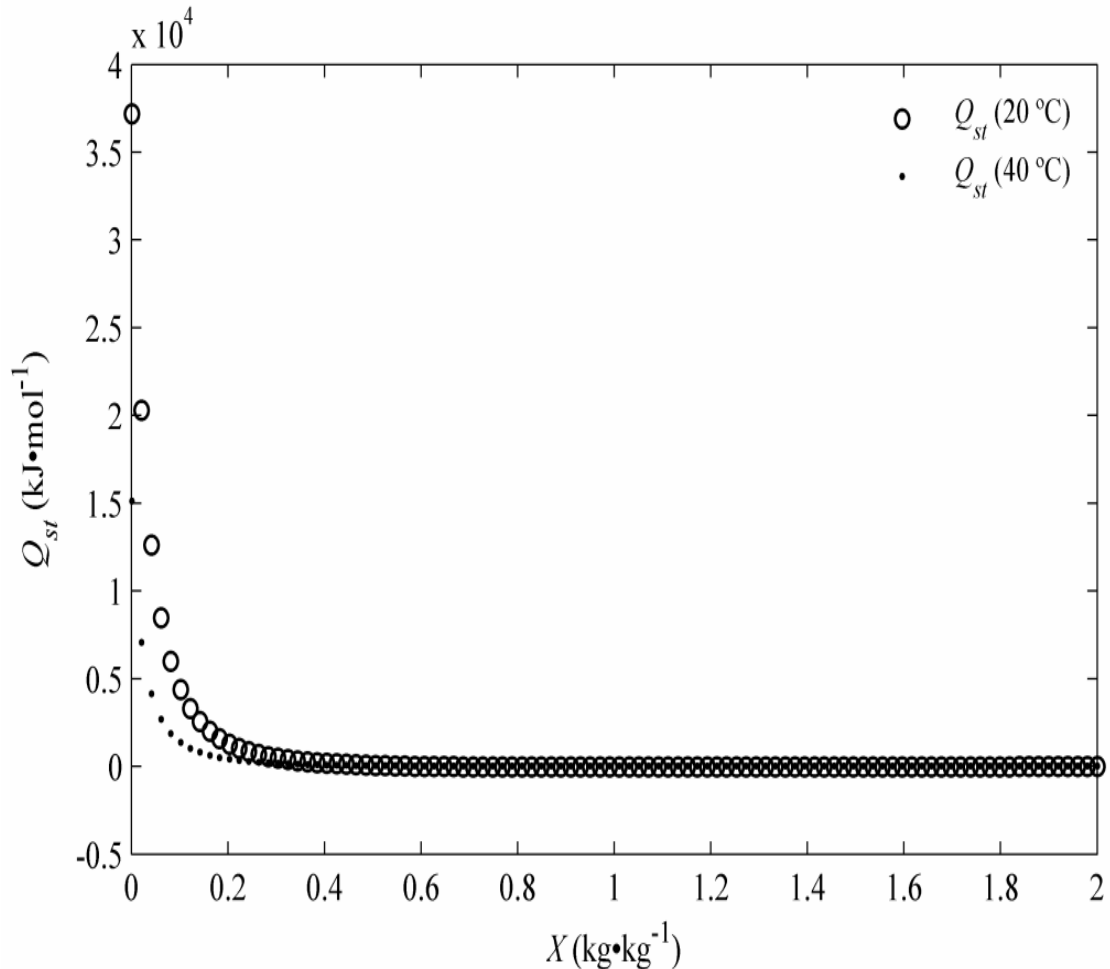
Figura 24 - Calor isostérico (Q_{st}) de kiwi sem tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0 kg.kg, b.s.



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Nas Figuras 24 e 25 é observada uma interseção entre os valores do Q_{st} nas temperaturas máxima e mínima, no conteúdo de umidade de 0,343 kg·kg⁻¹ (b.s.) e de 0,243 kg·kg⁻¹ (b.s.) nas amostras com tratamento osmótico. Isto pode ser explicado quantitativamente considerando que a baixos conteúdos de umidade e altas temperaturas, a sorção ocorre nos sítios mais disponíveis, sendo estes os de maior interação energética.

Figura 25 - Calor isostérico (Q_{st}) de kiwi com tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0 kg.kg, b.s.



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Os valores positivos de variação de entalpia representam uma transformação endotérmica, ou seja, que absorve calor. Para as amostras com tratamento osmótico, segundo Saltmarch e Labuza (1980), tais alimentos porque contêm açúcar, em elevadas atividades de água, ocorrerá a dissolução do açúcar e o açúcar cristalino será convertido em açúcar amorfo, devido a isso, a quantidade de água absorvida aumenta gradativamente depois dessa transição, por aumento do número de sítios de adsorção na quebra da estrutura cristalina do açúcar, por isso este processo é endotérmico. Foram encontrados valores semelhantes na secagem de café cereja (CORRÊA et al., 2010) e pitaias amarelas sem tratamento osmótico (AYALA-APONTE et al., 2011).

Observou-se também, que os valores de entalpia em todo o intervalo da umidade de equilíbrio são maiores que o calor de vaporização da água pura ($X = 43,37$ KJ.mol⁻¹), indicando que essa energia de interação das moléculas da água nos sítios de dessorção, isto é,

nos seus pontos ativos na superfície da fase sólida das amostras de kiwi sem e com tratamento osmótico é maior que a energia que mantem as moléculas da água pura na fase líquida, por isso, este processo é chamado de dessorção das amostras.

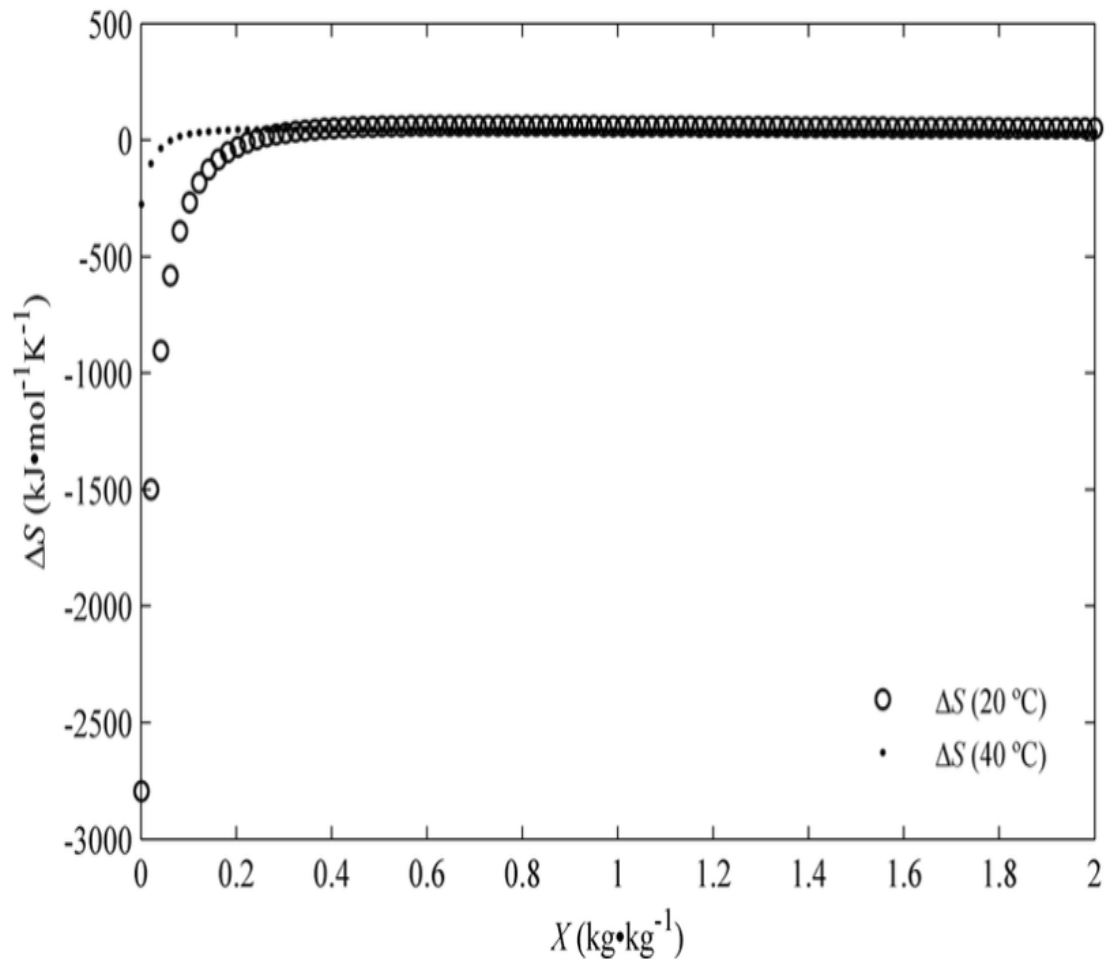
As figuras indicam que existe uma redução de interação de energia entre as moléculas de água e o alimento (forças de ligação diminuídas), alguns trabalhos mostram comportamentos similares em pinhas (SIMAL et al., 2007), lichias (JANJAI et al., 2010) e farinha de mandioca (AYALA-APONTE, 2011).

A entropia diferencial de um material é proporcional ao número de sítios de sorção disponíveis a um nível específico de energia (MADAMBA; DRISCOLL; BUCKLE, 1996), indicando o estado de mobilidade das moléculas de água no produto.

Uma mudança no valor dessa propriedade se dá de acordo com a quantidade de água que é adsorvida pelo alimento. A relevância dessa mudança varia com a pressão de vapor de água em que a água é adsorvida. Este cálculo de energia é importante, uma vez que junto à entalpia diferencial de adsorção resulta em energia livre de Gibbs ($\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$) que é uma função termodinâmica de estado que representa a quantidade máxima de energia liberada em um processo ocorrendo a temperatura e pressão constantes que está livre para realizar trabalho útil (ASCHERI et al., 2009).

As Figuras 26 e 27, respectivamente, mostram esta propriedade termodinâmica nas amostras de kiwi sem e com tratamento osmótico. Observa-se a diminuição nas amostras sem tratamento osmótico com aproximadamente $-1500 \text{ KJ.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ e discreto aumento na amostra com tratamento osmótico, com valor aproximado de $-1000 \text{ KJ.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$, ambos nas temperaturas de 20°C e 40°C (mínima e máxima, respectivamente).

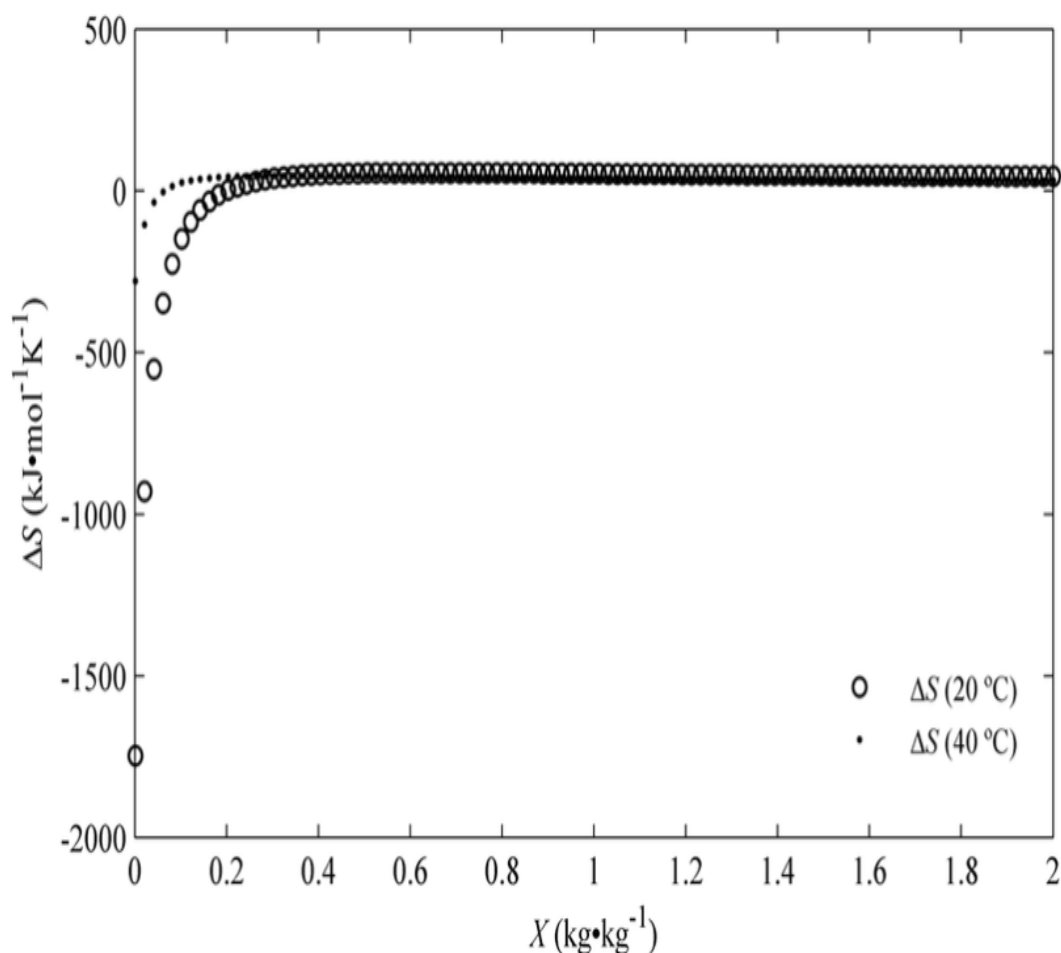
Figura 26 - Entropia (ΔS) de sorção da água de kiwi sem tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0 kg.kg, b.s.



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Nas amostras de kiwi sem tratamento osmótico, a entropia diferencial diminui com o aumento da umidade de equilíbrio, apresentando um valor máximo de $50,81 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ e de mínimo de $-2794,42 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ à temperatura de 20°C e de $33,17 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ e $-274,53 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ à temperatura de 40°C , que foram atingidos em baixos valores de umidade de equilíbrio.

Figura 27 – Entropia (ΔS) de sorção da água de kiwi com tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0 kg.kg, b.s.

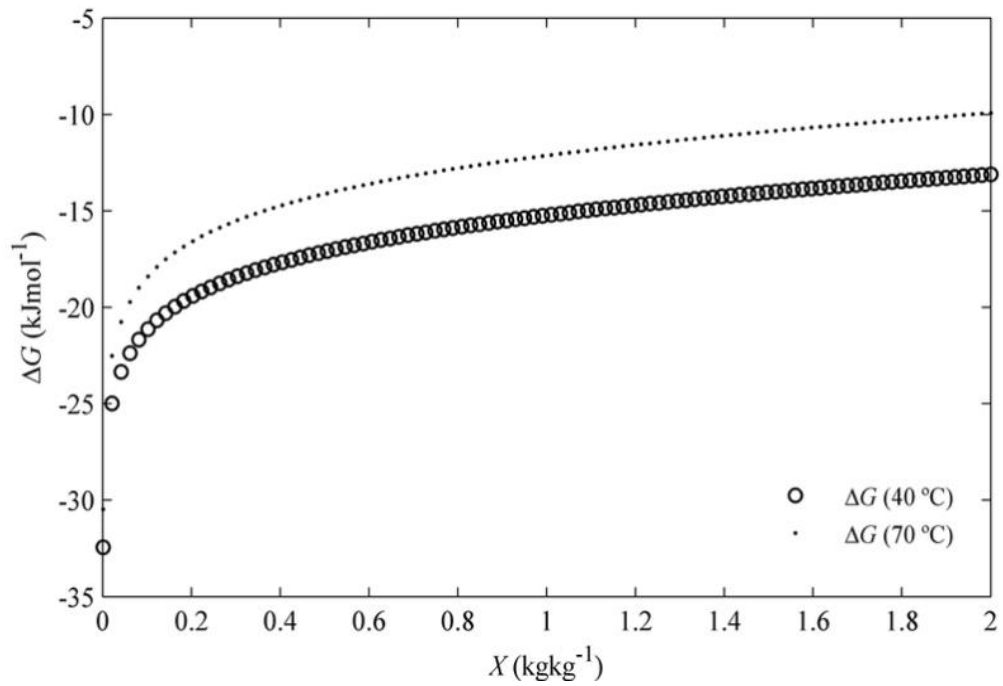


Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Nas amostras de kiwi com tratamento osmótico, a entropia diferencial também diminui com o aumento da umidade de equilíbrio, apresentando um valor máximo de $45,96 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ e de mínimo de $-1747,64 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ à temperatura de 20°C e de $33,40 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ e $-278,464 \text{ KJ}\cdot\text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ à temperatura de 40°C , que foram atingidos em baixos valores de umidade de equilíbrio.

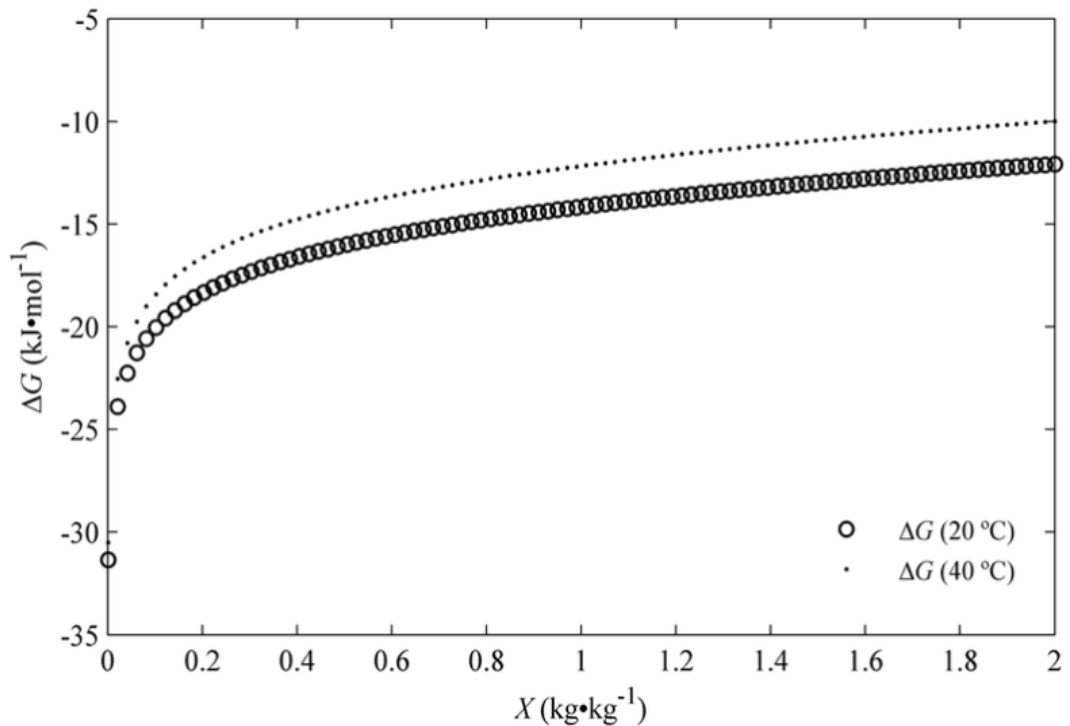
A energia livre de Gibbs (Figuras 28 e 29) está relacionada com a energia requerida para transferir moléculas de água de uma superfície sólida para o estado de vapor ou vice-versa, isto é, equivale a medida do trabalho feito pelo sistema para realizar o processo de desorção ou o de adsorção (CORRÊA et al., 2010).

Figura 28 - Energia Livre de Gibbs (ΔG) de sorção da água de kiwi sem tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0 kg.kg, b.s.



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Figura 29 - Energia Livre de Gibbs (ΔG) de sorção da água de kiwi com tratamento osmótico em função da umidade de equilíbrio na faixa de 0 – 2,0 kg.kg, b.s.



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

De acordo com Telis et al. (2000) por meio da determinação da energia livre de Gibbs é possível verificar a espontaneidade do processo de ganho ou perda de água entre o produto e o meio. Para valores de energia livre de Gibbs negativos, o processo será espontâneo, e para valores positivos será não espontâneo, já quando é zero, então o equilíbrio, em relação a espontaneidade do processo, foi alcançado (NAYAK; PANDEY, 2000). Observa-se que, neste estudo, o processo ocorreu espontaneamente.

5.7 Análise de macronutrientes

A Tabela 12 apresenta os valores da composição dos macronutrientes do kiwi. Observam-se os valores da composição nutricional em relação aos encontrados na literatura onde se confirma que são muito próximos aos encontrados neste estudo (BEEVER; HOPKIRK, 1990; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO, 2015). Ainda, percebeu-se que a desidratação osmótica concentrou certos nutrientes, tais como os lipídios e proteínas.

Tabela 12 - Valores da composição dos macronutrientes do kiwi antes e após a desidratação osmótica

PARÂMETROS	RESULTADOS					
	Kiwi <i>in natura</i>	Kiwi com osmose	Kiwi seco a 40°C	Kiwi seco a 50°C	Kiwi seco a 60°C	Kiwi seco a 70°C
UMIDADE (b.u %)	84,18	84,38	86,57	85,18	85,84	84,43
LIPÍDIOS (%)	0,00	1,27	0,38	3,19	2,92	3,48
PROTEÍNAS (%)	0,00	4,02	6,48	6,28	6,63	6,67
CINZAS (%)	0,59	0,56	2,53	3,16	2,96	3,18
CARBOIDRATOS (%)*	10,58	9,77	4,03	2,16	1,63	2,21
VALOR ENERGÉTICO (Kcal/100g)**	63,00	66,59	45,46	62,47	59,32	66,84

*obtido por diferença.

** obtido por soma.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

5.8 Determinação de pH

Os valores de pH antes e após a osmose foram 3,6 e 3,5 respectivamente, que são valores próximos aos encontrados por Barbosa et al. (2014) para caju, abacaxi, manga e banana. O pH em soluções osmóticas tende a diminuir devido ao incremento dos sólidos solúveis contidos na solução de sacarose, dissolvidos com a ação dos íons H^+ na água.

5.9 Sólidos solúveis

Os teores de sólidos solúveis antes e depois da osmose foram 13% e 15%, respectivamente, correspondendo um aumento de 1,15 vezes desse parâmetro. Cassano et al., (2008) concentraram suco de kiwi a 12,1°Brix por evaporação osmótica e obtiveram um produto concentrado com 61,4°Brix, apresentando um fator de concentração de 5,1 vezes. De acordo com Mendonça, Rodrigues e Zambiasi (2000), o teor de sólidos solúveis elevou-se devido à adição de açúcar, que pode diminuir a umidade, em função da evaporação da água durante o tratamento térmico. Outra explicação deste aumento é descrita por Cruz (1990), em que o açúcar natural da fruta, antes dissolvido na água presente no kiwi, permanece e se concentra enquanto a umidade é retirada.

5.10 Determinação de Vitamina C

Os teores encontrados no kiwi *in natura* e após a desidratação osmótica estão na Tabela 13.

Tabela 13 - Teores de vitamina C encontrado nas amostras de kiwi antes e após a desidratação osmótica

Amostras	Concentração (mg/100g)
Kiwi <i>in natura</i>	85,1
Kiwi com osmose	221,3
Kiwi seco a 40°C	312,7
Kiwi seco a 50°C	390,8
Kiwi seco a 60°C	458,0
Kiwi seco a 70°C	455,8

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Constatou-se uma elevada variação no teor de vitamina C nas amostras após a osmose e desidratação de 85,1 mg/100 g de Ácido ascórbico (AA) para 455,8 mg/100g na última temperatura da desidratação osmótica, que são valores superiores aos encontrados em outros trabalhos com caju desidratado (ALVES; MACHADO; QUEIROGA, 2011; MACHADO et al., 2011).

De acordo com Okuse e Ryugo (1981), as células dos frutos do kiwi acumulam numerosas ráfides (cristais em forma de agulhas) de oxalato de cálcio, proporcionando efeito tampão que impede que o ácido ascórbico se oxide, contribuindo para sua estabilidade no fruto, corroborando ao que dizem Brandão et al. (2003), que após a secagem os nutrientes são concentrados no produto seco devido à retirada de água, reduzindo a atividade de água do fruto desidratado.

5.11 Composição dos micronutrientes

Todas as frutas possuem teores significativos de todos os minerais majoritários (Na, K, Ca, Mg e P) em mg/100g (MENDES-FILHO; SILVA, 2014).

Os resultados da análise de micronutrientes (minerais) estão na Tabela 14, onde observar-se que os teores de cálcio, potássio e magnésio apresentaram teores crescentes após o pré-tratamento com osmose e a secagem nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C, favorecidos pela concentração dos mesmos com a osmose e desidratação (AZEREDO, 2004).

O cálcio teve discreta variação antes e após a desidratação osmótica, significando que tal tratamento poderá diminuir sua concentração, isto é devido à sua mobilidade no interior da planta ser muito baixa, sendo afetada, inclusive pela pressão osmótica (LAZCANO FERRAT, 1998). A ingestão diária desse mineral é de 0,8 g /100g e deve vir sempre acompanhado pelas vitaminas C e D e pelo Magnésio; o Fósforo também ajuda sua absorção, mas em quantidade limitada; excesso de proteínas, refrigerantes, café e álcool podem bloquear essa absorção (BRASIL, 1998). O teor encontrado deste mineral no kiwi *in natura* foi de 3,5 mg /100g e na temperatura final da secagem foi de 3,56 mg /100g, totalizando 14,5 % da ingestão diária recomendada deste mineral na dieta humana.

Tabela 14 - Micronutrientes do kiwi *in natura*, após o tratamento osmótico e secagem

Concentração (mg.100g ⁻¹)	Resultados das amostras (média e desvio padrão)					
	Kiwi <i>in natura</i>	Kiwi com osmose	Kiwi com 40°C	Kiwi com 50°C	Kiwi com 60°C	Kiwi com 70°C
Al	2,34±0,00 ^d	2,61±0,07 ^c	0,75±0,07 ^f	2,97±0,1 ^b	1,78±0,1 ^e	3,56±0,1 ^a
Ca	3,49±0,03 ^d	3,43±0,01 ^d	3,78±0,03 ^c	4,11±0,01 ^b	4,04±0,01 ^b	4,26±0,02 ^a
Cu	0,02±0,01 ^a	0,01±0,01 ^a	0,02±0,01 ^a	0,03±0,01 ^a	0,04±0,01 ^a	0,04±0,01 ^a
Mn	0,002±0,04 ^e	0,002±0,04 ^e	0,003±0,01 ^d	0,01±0,01 ^b	0,01±0,01 ^c	0,01±0,01 ^a
K	6,46±16,9 ^e	4,93±1,41 ^f	11,61±1,41 ^d	15,50±2,1 ^b	14,28±21,2 ^c	16,12±2,8 ^a
Mg	0,67±0,01 ^e	0,62±0,01 ^e	0,95±0,00 ^d	1,44±0,02 ^b	1,24±0,02 ^c	1,62±0,03 ^a
Na	2,07±2,82 ^c	1,80±1,41 ^d	1,44±3,5 ^e	2,34±1,4 ^f	1,20±2,1 ^d	3,98±2,1 ^a
P	0,90±0,00 ^f	1,22±0,0 ^e	4,27±0,0 ^d	5,71±6,4 ^c	6,39±1,41 ^b	7,81±1,41 ^a
Zn	0,01±0,10 ^a	0,004±0,1 ^a	0,02±0,1 ^a	0,22±0,01 ^a	0,05±0,01 ^a	0,06±0,01 ^a

*Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

A expressiva concentração de potássio, devido à sua grande mobilidade eletrolítica, em relação aos outros nutrientes minerais no kiwi pré-tratado osmoticamente e seco à temperatura de 70°C, pode caracterizar um benefício para fabricação de produtos alimentícios como os já encontrados no mercado atual, como por exemplo, as maçãs desidratadas, além disso, tal nutriente é bastante útil ao equilíbrio dos líquidos no organismo humano.

Recentes estudos apontam o potássio com ação anticancerígena. A ingestão diária recomendada para adultos (16 anos ou mais) deve ser menor que 2g /dia, menor que a quantidade de sódio (5g /dia). Para crianças (2 a 15 anos) a ingestão é de 3,51g /dia, ajustados mediante a necessidade de energia em relação aos adultos, segundo dados da Organização Mundial de Saúde - OMS (INSTITUTO GIRASSOL, [2013]). O valor encontrado do kiwi *in natura* foi de 6,5 mg /100g e na temperatura final da desidratação osmótica foi de 16,12 mg /100g, equivalendo a um aumento de 6% da ingestão diária recomendada.

A ingestão diária recomendada (IDR) de magnésio é de 0,28 g dia para mulheres e de 0,35 g/dia para homens (MAFRA; COZZOLINO, 2007). O teor desse mineral nas amostras antes e após a desidratação osmótica mostrou-se crescente de 0,67mg.100 g⁻¹ a 1,62mg.100 g⁻¹ indicando, assim, que tal tratamento beneficia sua concentração. Neste estudo, para o kiwi *in natura*, encontrou-se um teor de 0,7 mg /100 g e após a desidratação osmótica, o seu teor aumentou para 1,62 mg /100g, cerca de 0,6% da IDR.

O sódio apresentou acentuada concentração, também a 70°C, e, tal elemento favorece os estímulos nervosos aos neurônios (CORSINO, 2009). A ingestão diária recomendada pela ANVISA (BRASIL, 1998) é de 2,3 g. O valor encontrado do kiwi antes da osmose foi de 2,1 mg /100 g e no final da desidratação osmótica, este valor aumentou para 3,98 mg /100 g, cerca de 0,2 % da ingestão diária recomendada. Tal resultado denota que a desidratação osmótica concentra tal mineral no kiwi de acordo com o aumento da temperatura de secagem, com alguns picos de declínio em temperaturas intermediárias na faixa estabelecida por este estudo.

O fósforo com valores acentuados nesta mesma temperatura entra na composição dos músculos, sangue, ossos, dentes e hormônios. Segundo a ANVISA (BRASIL, 1998), o teor de fósforo, para o indivíduo adulto é de 0,7 g/dia (MILLER-IHLI, 1996) ou de 0,8 g /dia. Ainda que os teores encontrados desse mineral nas amostras estejam abaixo do indicado, tais resultados indicam que a desidratação osmótica não influencia no seu declínio, ao contrário, o mesmo pode ficar até mais concentrado com esse tipo de tratamento. Para o kiwi antes da osmose foi encontrado um teor de 0,9 mg /100 g e no final da desidratação osmótica foi de 7,8 mg /100 g, o que equivale a 1,11 % do índice recomendado.

O manganês é essencial para o metabolismo do colesterol, crescimento corpóreo e reprodução. Sua deficiência provoca modificações nas estruturas celulares, deformações específicas do esqueleto. A principal causa de deficiência é a presença de cálcio, fosfato e carbonato que reduzem sua absorção. A dose diária para homens acima de 19 anos é de 2,3 mg e para as mulheres é de 1,6 mg, para os meninos é de 1,9 a 2,2 mg e para as meninas é de 1,6 mg (BRASIL, 2005). Neste trabalho encontrou-se a quantidade de 0,002 mg /100 g no kiwi *in natura* e à temperatura de 70°C houve um aumento de 0,11 mg/100g desse mineral.

A presença de alumínio em alimentos está associada a fontes naturais ou devido a presença de aditivos em alimentos (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB), 2012).

Estima-se que o corpo humano médio contenha de 35 mg a 50 mg de alumínio, dos quais aproximadamente 50% estão nos pulmões, 25% nos tecidos moles e 25% nos ossos. Na dieta de um adulto médio, o alumínio geralmente representa cerca de 3 mg a 10 mg por quilo ao dia, embora as pessoas sob medicação especial possam ingerir mais de 1.000 mg/dia, geralmente na forma de hidróxido de alumínio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (ABAL), 2011). Segundo a ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS, 1998), a ingestão semanal tolerável de alumínio é de aproximadamente 7 mg.Kg⁻¹ de peso corpóreo (OMS, 1998).

A quantidade encontrada neste estudo apresentando 3,5 mg está no início da faixa que corresponde à dieta de um adulto com algumas variações nas temperaturas de 40°C a 70°C.

Alimentos como frutas, farelo de trigo, germe de trigo, vegetais, mel e café, são fontes de cobre (BLAUROCK-BUSCH; GRIFFIN, 1996). O conteúdo comum em alimentos pode variar de 3 – 80 mg.Kg⁻¹, a dose recomendada para adultos é de 2 mg/dia, de acordo com Pais e Benton (1997)¹⁰ citado por Venezuela (2001); o Conselho de Alimentos e Nutrição dos Estados Unidos, sugerem a faixa de 1 a 1,5 mg/dia e o Comitê Misto FAO/WHO indica como dose máxima diária aceitável, 0,5 mg.kg⁻¹ por peso de corpo, porém o recomendável é estimado em 0,05 mg.kg⁻¹ de peso (VENEZUELA, 2001). A quantidade encontrada nos kiwis antes e após a desidratação osmótica foi cerca de 2 vezes o recomendado para um adulto.

Houve uma concentração do teor de zinco após a desidratação osmótica, mas ainda está abaixo do índice recomendado para ingestão diária, que é de 4 a 5 mg/dia em crianças e de 23 a 40 mg/dia em adultos (dependendo do gênero), segundo Health and Medicine Division (HMD) ([2016]). Este nutriente é responsável por diversas funções nos organismos, dentre elas está a reprodução, ações no sistema nervoso central e aumento da imunidade biológica. O zinco é fundamental para o bom funcionamento dos órgãos sexuais, do metabolismo das enzimas, do sistema imunológico, da visão, além de agir na produção de insulina.

¹⁰ PAIS, I.; BENTON JONES, J. Jr. **The handbook of trace elements**. London: CRC Press, 1997.

6 CONCLUSÕES

O conhecimento da modelagem matemática da cinética de secagem e das isotermas das amostras de kiwi sem e com tratamento osmótico são importantes na otimização de processos visando minimizar perdas de nutrientes, bem como dimensionamento de equipamentos para o processamento desses frutos desidratados.

O modelo de GAB foi o que apresentou melhores coeficientes de correlação (R^2) e RMSE, além de melhor ajuste às isotermas.

No processo de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose a 10%, verificou-se que na temperatura de 70°C com velocidade de 2,1 m.s⁻¹, a umidade de equilíbrio foi atingida mais rapidamente, em torno de 4h, comparando-se com as demais temperaturas à mesma velocidade com valores de 30600 s, 20000 s, 18000 s, 10800 s nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C, respectivamente.

A cinética de secagem do kiwi ocorre dentro do período de taxa decrescente e é influenciada pela diminuição da umidade com o aumento de temperatura entre 40°C e 70°C, podendo este processo ser representada pelo modelo de Page. Diante das experimentações deste trabalho foi possível concluir que todos os modelos matemáticos foram satisfatórios para expressar o comportamento da desidratação osmótica do kiwi, uma vez que apresentaram coeficiente de determinação igual ou superior a 0,99 e erro médio relativo menor que 1.

A energia livre de Gibbs aumentou com o aumento do conteúdo de umidade em todos os experimentos apresentando valores menores que zero, indicando que todas as reações ocorreram espontaneamente.

Com o aumento da temperatura de secagem houve aumento na difusividade efetiva entre 4,84.10⁻¹⁰ a 14,42 10⁻¹⁰ m².s⁻¹.

A relação entre o coeficiente de difusividade efetiva (D_{eff}) e a temperatura pode ser descrita pela equação de Arrhenius, onde apresentou uma energia de ativação de 3,077.10⁴ J.mol⁻¹.

Na análise dos macronutrientes apresentaram valores que estavam na faixa encontrada na literatura e houve aumento na concentração de alguns deles, tais como proteínas e lipídeos com a desidratação osmótica.

A análise de micronutrientes mostrou que o pré-tratamento osmótico proporcionou maior concentração de alguns minerais, tais como o potássio, fósforo e magnésio, observando dessa forma que tal tratamento corrobora para ganho ou perda de alguns minerais.

7 SUGESTÕES

Sugere-se, como complemento a este estudo:

- Realizar a secagem das amostras de kiwi cv. Hayward sem o pré-tratamento osmótico e modelar a cinética de secagem com os modelos empregados neste estudo, para efeito de comparação;
- Caracterizar as amostras reidratadas;
- Análises de perda e ganho de sólidos em amostras de kiwi sem e com tratamento osmótico através de um delineamento experimental;
- Uso de diferentes soluções osmóticas para efeito de comparação entre elas;
- Uso de diferentes velocidades de ar durante a secagem;
- Uso de diferentes tamanhos de espessuras do kiwi para secagem e modelagem matemática;
- Caracterizar outros parâmetros de conservação de nutrientes, tais como atividade antioxidante e vitamina E.

REFERÊNCIAS

- ABD ALLAH, M. A.; ZAKI, M. S. A. Preservation of mango juice by freezing and canning. **Lie Narung**, Berlin, v. 18, n. 2, p. 207-216, jan./jun.1974.
- ABRAMOVIČ, H.; KLOFUTAR, C. Water adsorption isotherms of some gellan gum samples. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 77, n. 3, p. 514-520, 2006. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.06.064.
- AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, p. 349-353, 1999.
- AGUIAR, L. P. **β -caroteno, vitamina C e outras características de qualidade de acerola, caju e melão em utilização no melhoramento genético**. 2001. 87 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.
- ALBERT Einstein: Todo aquele que se dedica ao estudo da... In: PENSADOR: autores. c2005-17. Disponível em: <<https://pensador.uol.com.br/frase/Njg0ODI3/>>. Acesso em: 16 dez. 2016.
- ALEXANDRE, H. V. et al. Cinética de secagem de abacaxi CV. Pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 123-128, 2009.
- ALMEIDA, F. N. C et al. Cinética da secagem da semente de *Moringa oleífera Lam.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS – ENEMP, 37., 2015, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2015. p. 1-10. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/enemp2015/SE-543.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2017.
- ALVARENGA, L. R.; FORTES, J. M. Cultivares de fruteiras de clima temperado. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 124, p. 3-24, abr./jun.1985.
- ALVES, C. O. C. **Pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense cam.*) liofilizada: higroscopicidade e microestrutura**. 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- ALVES, D. G. et al. Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia puniceifolia L.*). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 68, n. 1, p. 99-103, 2005.
- ALVES, F. M. S.; MACHADO, A. V.; QUEIROGA, K. H. Alimentos produzidos a partir de farinhas de caju, obtida por secagem. **Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 6, n. 3, p. 131-138, 2011. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2702/pdf_910>. Acesso em: 12 jan. 2015.
- ANSARI, S. et al. Modeling the effect of glucose syrup on the moisture sorption isotherm of figs, **Food Biophysics**, New York, v. 6, p. 377-389, 2011.

ARAÚJO, R. D. A. et al. Coeficiente de difusividade efetivo e modelagem matemática da secagem de berinjela. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO DE CIÊNCIAS, 1., 2016, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Realize Eventos e Editora, 2016. Disponível em:

<http://editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV058_MD4_SA80_ID1246_05052016170100.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2016

ASCHERI, D. P. R. et al. Propriedades termodinâmicas de adsorção de água de amido de rizomas do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 454-462, abr./jun. 2009. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612009000200036&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 23 fev. 2017. DOI: 10.1590/S0101-20612009000200036.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (ABAL). **O alumínio no corpo humano**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/site/pdf/o-aluminio-no-corpo-humano.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2016.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official Methods of Analysis**. 17. ed. Washington, D. C., 2000.

AVERSA, M. et al. Na analysis of the transport phenomena occurring during food drying process. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 3, p. 922-932, 2007.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. Disponível em:

<http://www.cena.usp.br/irradiacao/cons_umid.html>. Acesso em: 12 nov. 2015.

AZUBEL, P. M. et al. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew Apple. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 44, n. 5, p. 980-986, 2009. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2008.01783.x.

AZZOUZ, S. et al. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 55, n. 4, p. 323-330, 2002. DOI: 10.1016/S0260-8774(02)00109-7.

AYALA-APONTE, A. A. Estimación de las isothermas de adsorción y del calor isostérico em harina de yuca. **Revista de Biotecnología em el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, Popayán, v. 9, n. 1, p. 88-96. 2011. Disponível em:

<<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v9n1/v9n1a11.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

AYALA-APONTE, A. A.; SERNA COCK, L.; RODRIGUEZ, G. Isothermas de desorcion de humedad en pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). **Revista de Biotecnología em el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, Popayán, v. 10, n. 2, p. 135-143, Dec. 2012 .

Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612012000200016&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 5 set. 2016.

BABALIS, S.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying contents and moisture diffusivity during the thin layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 65, n. 3, p. 449-458, Dec. 2004. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.02.005.

BARBOSA, L. de S. B. et al. Estudo da secagem de frutos tropicais do Nordeste. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Mossoró, v. 9, n. 1, p. 186-190, jan-mar, 2014. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2702/2157>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. et al. **Water activity in foods: fundamentals and applications**. Ames: Blackwell, 2007.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; VEGA-MERCADO, H. Osmotic dehydration. In: **Dehydration of foods**. New York: Chapman & Hall, 1996. cap. 8, p. 265-284.

BASU, S.; SHIVHARE, U. S.; MUJUMDAR, A. S. Models for Sorption Isotherms for Foods: A Review. **Drying Technology**, New York, v. 24, n. 8, p. 917-930, aug. 2006. DOI: 10.1080/07373930600775979.

BLAHOVEC, J; YANNIOTIS, S. Modified classification of sorption isotherms. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 91, n. 1, p. 72-77, 2009. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.08.007.

BEEVER, D. J; HOPKIRK, G. Fruit development and fruit physiology. In: WARRINGTON, I. J. **Kiwifruit: science and management**. Auckland: R. Richards Publisher; New Zealand Society for Horticultural Science, 1990. p. 235-251.

BÉLIVEN, R.; GINGRAS, D. **Os alimentos contra o câncer: a prevenção e o tratamento do câncer pela alimentação**. Tradução de Lucy Magalhães. Petrópolis: Vozes, 2007.

BENDER, A. E. **Food processing and nutrition**. London: Academic Press, 1978.

BENDLIN, R. C. S. **Secagem convectiva de erva-mate (*Ilex paraguariensis*)**. 2003. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BERNHARDT, L. W. et al. Mudanças que ocorrem durante o armazenamento de frutas e hortaliças congeladas. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 9-34, jul./set. 1979.

BLAUROCK-BUSCH, E.; GRIFFIN, V. **Mineral and trace element analysis: laboratory and clinical application**. Boulder: TMI/MIM Books, 1996.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2. ed. Campinas: Varela, 1995.

BORIN, I. et al. Efeito do pré-tratamento osmótico com sacarose e cloreto de sódio sobre a secagem convectiva de abóbora. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 39-50, 2008.

BRANDÃO, M. C. C. et al. Análise física química, microbiológica e sensorial de frutos de manga submetidos à desidratação osmótica solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 25, n. 1, p. 38-41, 2003.

BRANDELERO, R. P. H. et al. Aplicação de revestimento comestível em abacaxis processados por métodos combinados: isoterma de sorção e cinética de desidratação osmótica. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 285-290, 2005. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/28118>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e da Pesca. **[Diagnóstico sobre o kiwi]**. Brasília, 2007. Disponível em: <<http://213.30.17.29/pbl/diagnosticos/SubFileiras/Kiwi.pdf> >. Acesso em: 28 set. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Programa Brasileiro de Modernização do Mercado Hortigranjeiro (PROHORT). **[Produção do kiwi no Brasil]**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://dw.prohort.conab.gov.br/pentaho/Prohort>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Alimentos com alegações de propriedades funcionais e ou de saúde, novos alimentos/ingredientes, substâncias bioativas e probióticos**. 11 jan. 2005. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/alimentos/comissoes/tecno.htm>>. Acesso em 28 set 2015.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Secretaria de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 272, de 22 de setembro de 2005. Aprova regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 de setembro de 2005. Disponível em: http://brasil.minagri.gov.br/wp-content/uploads/2012/08/Anvisa_RDC_272_2005.pdf. Acesso em 12 abr 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC n. 269, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 set. 2005. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/resolucao-rdc-no-269-de-22-de-setembro-de-2005.html>>. Acesso em: 19 ago. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 33, de 13 de janeiro de 1998. Adota valores como níveis de IDR para as vitaminas, minerais e proteínas. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 jan. 1998.

BRENNA, O. V.; PAGLIARINI, E. Multivariate analyses of antioxidant power and polyphenolic composition in red wines. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Chicago, v. 49, n. 10, p. 4841-4844, out. 2001.

BRUNAUER, S. et al. On the theory of Van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 62, n. 7, p. 1723-1732, 1940.

BRUNO, A. N. **Biotecnologia**. Porto Alegre: Artmed, 2014. v. 1.

CAMARGO, R. et al. **Tecnologia de produtos agropecuários**. São Paulo: Nobel, 1984.

CANIZARES, D.; MAURO, M. A. Enhancement of quality and stability of dried papaya by pectin-based coatings as air-drying pretreatment. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 8, n. 6, p. 1187-1197, 2015.

CANO-CHAUCA, M. et al. Curvas de secagem e avaliação da atividade de água da banana passa. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 121-132, 2004.

CARVALHO, A. V.; LIMA, L. C. O. Qualidade de kiwis minimamente processados e submetidos a tratamento com ácido ascórbico, ácido cítrico e cloreto de cálcio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 5, p. 679-685, 2002.

CARVALHO, G.; SOUZA, C. L. de. **Química para o ensino médio: de olho no mundo do trabalho**. São Paulo: Scipione, 2003. v. único.

CASSANO, A. et al. Clarification and concentration of citrus and carrot juices by integrated membrane process. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 57, n. 2, p. 153-163, 2003.

CASTIGLIONI, G. L. et al. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 9, p. 987-994, 2013.

CASTRO, M. R. S. **Cinética da degradação do ácido ascórbico em polpas de frutas congeladas in natura**. 2005. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência)-Instituto de Tecnologia, Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: Ed. da Unicamp, 2003.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.

CHAGURI, L. et al. Cinética de secagem de Kiwi (*Actinidia deliciosa* var. Hayward). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA – COBEQ, 20., 2014. Florianópolis. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 1, n. 2, Fev. 2015. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/cintica-de-secagem-de-kiwi-actinidia-deliciosa-var-hayward-17216>>. Acesso em: 20 abr. 2016. DOI: 10.5151/chemeng-cobeq2014-1499-18989-143204.

CHAVES, M. C. V. et al. Caracterização físico-química do suco da acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão, v. 4, n. 2, 2004. Disponível em: <<http://joaootavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/acerola-515653c8767a0.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

CHEN, C. C.; MOREY, R. V. Comparison of four EMC/ERH equations. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 3, p. 983-989, 1989.

CHINNAN, M. S.; BEUCHAT, L. R. Sophion isotherms os whole cowpeas and flours. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**, London, v. 18, n. 2, p. 83-88, 1985.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Alumínio**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/aluminio.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2016.

CÓRDOVA, K. R. V. **Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã fuji comercial e industrial**. 2006. 167 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CORNEJO, F. E.; NOGUEIRA, R. I; WILBERG, V. C. **Secagem como Método de Conservação de Frutas**. Brasília, DF: EMBRAPA, Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC), 2003. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65529/1/2003-DOC-0054.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2016.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arábica L.*) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rceres/v57n5/a05v57n5.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2016. DOI: 10.1590/S0034-737X2010000500005.

CORSINO, J. **Bioquímica**. Campo Grande: Ed. da UFMS, 2009.

COSTA, L. M. et al. Modelagem matemática da secagem de frutos de crambe em camada delgada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 2, p. 392-403, Mar./Apr. 2015. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/22340/16114>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

COSTA, L. M. et al. Coeficiente de difusão e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1089-1096, 2011.

CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**. 2nd. Ed. Oxford, UK: Clearendon Press, 1975.

CRUESS, W. V. **Produtos industriais de frutas e hortaliças**. São Paulo: E. Blücher, 1973. v. 1-2.

CRUZ, G. A. **Desidratação de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Globo, 1990.

CRUZ, G. A. **Desidratação de alimentos**. Rio de Janeiro: Globo, 1989.

DIONYSIO, R. B; MEIRELLES, F. V. P. **Conservação de alimentos**. Sala de Leitura. Rio de Janeiro: CCEAD PUC-Rio, 2003. Disponível em: <http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_conservacao_de_alimentos.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2017.

- DOSUNMU, A.; OKORO, E. E. Determination of Moisture Adsorption Isotherm of Shale from Agbada Formation Using GAB Model. **Research Journal of Engineering Sciences**, Indore, v. 1, n. 4, p. 27-33, Oct. 2012. Disponível em: <<http://www.isca.in/IJES/Archive/v1/i4/5.ISCA-RJEngS-2012-070.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2017.
- DOYMAZ, I. Air-drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 4, p. 1291-1297, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.047>.
- FAN, G. Z. **Estudo da secagem convectiva do bagaço de mirtilo visando minimizar a perda de compostos antociânicos**. 2010. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química)-Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- FERNANDES, F. A. N. et al. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, Barking, v. 39, n. 4, p. 492-498, 2006.
- FERNANDES, M. S. Perspectivas de mercado da fruta brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 19., 2006, Cabo Frio. **Anais...** Cabo Frio: SBF, 2006. p. 9.
- FERREIRA, M. F. P.; PENA, R. S. Estudo da secagem da casca de maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 15-28, 2010.
- FIORUCCI, A. R.; SOARES, M. H. F. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. A importância da vitamina C na sociedade através dos tempos. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 17, maio 2003.
- FOUST, A. S. et al. **Princípios das operações unitárias**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982.
- GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F. C. Thermodynamic models for Waters sorption by grape skin and pulp. **Drying Technology**, New York, v. 17, n. 4/5, p. 961-974. 1999.
- GAMA, M. J. A. et al. Difusividade térmica aparente de sementes de cajá em temperaturas acima do congelamento até ultrabaixas temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 303-308, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n3/11.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2017.
- GARCÍA-PÉREZ, J. V. et al. Water sorption isotherms for lemon peel at different temperatures and isosteric heats. **Food Science Technology**, London, v. 41, n. 1, p. 18-25, 2008.
- GASPARETTO, O. C. P. **Secagem osmo-convectiva de banana nanica (*Musa cavendishii*, L.), mamão formosa (*Carica papaya*, L.) e jaca (*Artocarpus integrifolia* L.)**. 2005. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

- GIOIELLI, L. A.; PITOMBO, R. N. M. Conservação de alimentos pelo controle da umidade. In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. v. 23, cap. 6, p. 123-152. (Série Ciência, Tecnologia, Engenharia de Alimentos e Nutrição).
- GOMES, A. P. E. et al. Caracterização física e química de kiwi in natura e polpa provenientes da comercialização de Dourados –MS. **Revista de Ciências Exatas e da Terra UNIGRAN**, Dourados, v. 1, n.1, p. 1-8, 2012. Disponível em: <http://www.unigran.br/ciencias_exatas/conteudo/ed1/artigos/01.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2016.
- GOMEZCACERES PEREZ, L. et al. Cinética de secagem da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 102-106, jan./mar. 2013.
- GONÇALVES, A. A.; BLUME, A. R. Efeito da desidratação osmótica como tratamento preliminar na secagem do abacaxi. **Estudos tecnológicos**, São Leopoldo, v. 4, n, 2, p. 124-134, maio/ago. 2008.
- GONELI, A. L. D. et al. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais= Brazilian Journal of Medicinal Plants**, Botucatu, v. 16, p. 434-443, 2014.
- GOULART, C. Cultivo de kiwi é promissor, mas exige investimentos. *Farroupilha, Página Rural*, 20 jul. 2004. Disponível em: <<http://www.paginarural.com.br/noticia/910/cultivo-de-kiwi-e-promissor-mas-exige-investimentos>>. Acesso em: 20 jan. 2016.
- GOULARTE, V. D. S.; ANTUNES, E. C.; ANTUNES, P. L. Qualidade de maçã Fuji osmoticamente concentrada e desidratada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 160-163, 2000.
- GRELLMANN, E. O. **Cultura do quivizeiro**. Porto Alegre: SENAR-RS, 2005.
- GUEDES, A. M. M; FARIA, L. J. G. Determinação da constante de secagem de urucum (*bixa orellana l.*) em secador convectivo de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 73-86, 2000. Disponível em: <<http://deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev21/Art219.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2017.
- HALL, C. W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: AVI, 1980.
- HEALTH AND MEDICINE DIVISION (HMD). **Dietary Reference Intakes-DRIs**. Washington, DC: The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, [2016]. Disponível em: <http://nationalacademies.org/hmd/~media/Files/Activity%20Files/Nutrition/DRI-Tables/4_%20UL%20Values_Vitamins%20and%20Elements.pdf?la=en>. Acesso em: 14 nov. 2016.
- HEIFFIG, L. S. et al. Caracterização físico-química e sensorial de frutos de kiwi minimamente processado armazenados sob refrigeração. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, Hermosillo, v. 8, n. 001, p. 26-32, 2006.

HENDERSON, S. M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 33, p. 29-32, 1952.

HUI, C. L.; LAW, C. L.; CLOKE, M. Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 90, n. 2, p. 191-198, 2009.

IGLESIAS, H. A.; CHIRIFE, J. An alternative to the GAB model for the mathematical description of moisture sorption isotherms of foods. **Food Research International**, Barking, v. 28, n. 3, p. 317-321, 1995.

IGLESIAS, H. A.; CHIRIFE, J. Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food materials. **Journal of Food Technology**, Minnesota, v. 11, n. 2, p. 109-116, 1976.

ISENGARD, H.-D.; KLING, R.; REH, C. T. Proposal of a new reference method to determine the water content of dried dairy products. **Food chemistry**, London, v. 96, n. 3, p. 418-422, 2006.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2008.

INSTITUTO GIRASSOL. **Novas recomendações de sódio e potássio da OMS**. São Paulo, [2013]. Disponível em: <<http://www.girassolstituto.org.br/site/index.php/noticias/11-conteudo-cientifico/noticias/90-novas-recomendacoes-de-sodio-e-potassio-da-oms>>. Acesso em: 3 dez. 2015.

JANJAI, S. et al. Measurement and modeling of moisture sorption isotherm of litchi (*Litchi Chinensis*). **International Journal of Food Properties**, New York, v. 13, n. 2, p. 251-260, 2010.

JIDEANI, V. A.; MPOTOKWANA, S. M. Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 92, n. 2, p. 182-188, 2009.

JOWITT, R. et al. **Physical properties methods of foods**. London: Applied Science Publishers, 1983.

KARATHANOS, V. T.; BELESSIOTIS, V. G. Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 74, n. 4, p. 355-361, 1999. DOI: <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.1999.0473>.

KARMAS, E. Techniques for measurement of moisture content of foods. **Food Technology**, Chicago, v. 34, n. 4, p. 52-59, 1980.

KHAN, M. A. M. et al. Prediction of water and soluble solids concentration during osmotic dehydration of mango. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 86, n. 1, p. 7-13, 2008.

KIWI. O BEM das frutas e dicas de saúde. [s.l.: s.n.], [2009]. Disponível em: <<https://as19frutas.wordpress.com/category/as-19-frutas-seus-beneficios/kiwi/>>. Acesso em: 28 jan. 2016.

- KOHAYAKAWA, M. N. et al. Thermodynamic properties applied to the sorption isotherms of kiwifruit. In: INTER-AMERICAN DRYING CONFERENCE. 2., 2001, Veracruz. **Proceedings**... Veracruz 91860: Isnt Tecnológico Veracruz, 2001. p. 453-462. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/34793>>. Acesso em: 22 nov. 2016.
- KUSKOSKI, P. et al. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p.726-732, 2005.
- LABUZA, T. P. Interpretation of Sorption Data in Relation to the State of Constituent Water. In: DUCKWORTH, R. B. (Ed.). **Water Relations of Foods**. London: Academic Press, c1975. p. 155-172. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-223150-6.50014-6>.
- LABUZA, T. et al. Storage stability of dry food systems: influence of state changes during drying and storage. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM - IDS'2004, 14., 2004, São Paulo. **Proceedings**... São Paulo: Ourograf, 2004. v. A, p. 48-68.
- LAHSASNI, S. et al. Experimental study and modeling of adsorption and desorption isotherms of prickly pear pell (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 55, n. 3, p. 201-207, 2002.
- LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. Composição de alimentos: uma análise retrospectiva e contextualização da questão. **Boletim da SBCTA**, Campinas, v. 31, n. 2, p. 90-92, 1997.
- LAJOLO, F. M.; VANNUCCHI, H. Tabelas de composição de nutrientes em alimentos: situação no Brasil e necessidades. **Archivos Latinoamericanos De Nutricion**, Caracas, v. 37, n. 4, p. 702-713, 1987.
- LAZCANO FERRAT, I. Las Temperaturas altas y la deficiencia de calcio en tomate (*Lycopersicon esculentum L.*). **Informaciones Agronomicas**, Atlanta, v. 3, n. 3, p. 11-12, ago. 1998. Disponível em: <[http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/748C18AD6F07B3E506256AE8005FF129/\\$file/ia+com+3-3.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/748C18AD6F07B3E506256AE8005FF129/$file/ia+com+3-3.pdf)>. Acesso em: 8 ago. 2016.
- LEUNG, H. K. Structure and properties of water. **Cereal foods World**, Minneapolis, v. 26, n. 7, p. 350-352, 1981.
- LIMA, A. S. et al. Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 26, n. 1, p. 107-109, 2004.
- LIRA, R. C. **Valor nutricional e utilização de resíduo da goiaba (*psidium guajava l*) e do tomate (*lycopersicon esculentum mill.*) na alimentação de frango de corte**. 2008. 92 f. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.
- LISBOA, J. C. F. **Química: ser protagonista**: 3. ano. São Paulo: Edições SM, 2010.
- LOMBARD, G. E. et al. Osmotic dehydration of pineapple as a pretreatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 85, n. 2, p. 277-284. 2008.

LOPES, M. de M. et al. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. **Revista Engevista**, Niterói, v. 15, n. 2, p. 176-186, ago. 2013.

MACHADO, A. V. et al. Estudo cinético da secagem do pedúnculo de caju e um secador convencional. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 6, n. 1, p. 44-51, 2011.

MADAMBA, P. S. Thin layer drying models for osmotically pré-dried young coconut. **Drying technology**, New York, v. 21, n. 9, p. 1759-1780, 2003.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Enthalpy-entropy compensation models for sorption and browning of garlic. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 28, n. 2, p. 109-119, 1996.

MADUREIRA, I. A. et al. Cinética de secagem da polpa do figo-da-índia. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, p. 345-354, 2011. Número especial.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Biodisponibilidade de micronutrientes. In: COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 2. ed. Barueri: 2007. pt. 3, cap. 26.

MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; LIMA, A. S. **Processamento de sucos de frutas tropicais**. Fortaleza: Edições UFC, 2007.

MANELA-AZULAY, M. et al. Vitamina C. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, Rio de Janeiro, v. 78, n. 3, p. 265-272, maio/jun. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abd/v78n3/16303.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017. DOI: 10.1590/S0365-05962003000300002.

MARTINAZZO, A. P. et al. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007.

MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chemistry**, London, v. 82, n. 1, p. 61-71, 2003. DOI: 10.1016/S0308-8146(02)00534-4.

MELO, B.; ALMEIDA, A. **Valor nutricional das frutas**. Uberlândia: UFU, ICA, Núcleo de Estudo em Fruticultura no Cerrado, c2003. Disponível em:

<<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/nutricao.htm>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

MENDES-FILHO, N. E; SILVA, C. F. Determinação de macro componentes e minerais no fruto abacaxi (*Ananas Comosus* L. Merrill). **Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1/2, p. 22-36, 2014.

MENDONÇA, C. R.; RODRIGUES, R. S; ZAMBIAZI, R. C. Açúcar mascavo em geleadas de maçã. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 1053-1058, Dez. 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v30n6/a22v30n6.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2015.

MENEZES, M. L. et al. Análise dos dados e ajustes matemáticos da secagem do bagaço do maracujá amarelo. **Engevista**, Niterói, v. 15, n. 2, p. 176-186, ago. 2013. Disponível em: <<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/viewFile/443/233>>. Acesso em: 16 jan. 2015.

MILLER-IHLI, N. J. Atomic absorption and atomic emission spectrometry for the determination of the trace element content of selected fruits consumed in the United States. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 9, n. 4, 301-311, Dec. 1996.
MOHSENIN, N. N. Physical properties of plants and animals materials. 2. ed. Amsterdam: Gordon and Breach, 1986.

MOREIRA COSTA, L. et al. Isotermas e calor isostérico de sementes de *Buchena via capitata* (Vahl) Eichler. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 516-523, jul./sept. 2015. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195338412008>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

MOTOHASHI, N. et al. Cancer prevention therapy with kiwifruit in Chinese folklore medicine: a study of kiwifruit extracts. **Journal of Ethnopharmacology**, Limerick, v. 81, n. 3, p. 357-364, 2002.

MULET, A. et al. Equilibrium isotherms and isosteric heats of morel (*Morchela esculenta*). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 53, n. 1, p. 75-81, 2002.

MURAKAMI, E. G. et al. Recommended design parameters for thermal conductivity probes for non frozen food materials. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 27, n. 2, p. 109-123, 1996.

NAYAK, L.; PANDEY, J. P. Free energy change and monolayer moisture content of paddy and milled rice. **Journal of the Institution of Engineers**, Calcutta, v. 80, p. 43-45, 2000.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **LEHNINGER Princípios de bioquímica**. Traduzido por Arnaldo Antero Simões, Wilson Roberto Navega Lodi. 3. ed. São Paulo, 2002.

NERY, C. **Consumo de adubos cresce duas vezes a média mundial**. Porto Alegre: Ricardo Alfonsin Advogados, [2015]. Disponível em: <<http://alfonsin.com.br/consumo-de-adubos-cresce-duas-vezes-a-mdia-mundial/>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

NGUYEN, M. H.; PRICE, W. E. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 1, p. 200-207, 2007.

NORÕES, E. R. de V. et al. **Processo agroindustrial**: associação de desidratação a vácuo e fritura para obtenção de goiaba com umidade intermediária. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2005. Comunicado Técnico.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 4. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003
OKUSE, I.; RYUGO, K. Compositional changes in the developing “Hayward” kiwifruit in California. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 106, n. 1, p. 73-76, 1981.

OLIVEIRA, G. H. H. de et al. Modelling and thermodynamic properties of the drying of strawberries. **Brazilian Journal of Food Technology = Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 314-321, dez. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-67232015000400314&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 5 set. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.5315>.

OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 181-189, 2006.

OLIVEIRA, V. S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Caracterização higroscópica de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 342-348, jun. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/sciel.php?script=sci_artex&pid=S1806-66902011000200012&/Ing=en&nrm=iso>. Acesso em: 16 nov. 2015.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Tradução de Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, 2005. v. 1.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). **Elementos traço na nutrição e saúde humana**. Genebra, 1998.

OSÓRIO, C. et al. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 353-359, 2007.

PACHECO, C. R. F. **Curso de especialização em papel e celulose**. São Paulo: USP, Escola Politécnica, [2013]. Apostila. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pqi2530/alimentos/pacheco_secagem_cap_1.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2016.

PAGLARINI, C. S. et al. Análise da histerese em isotermas de equilíbrio de amêndoas de cumbaru (*Dipteryx alata Vogel*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 1-6, 2013. Disponível em: <<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev151/Art1511.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

PAKOWSKI, Z.; MUJUMDAR, A. S. Basic process calculations in drying. **Handbook of industrial drying**. Nova York: M. Dekker, 1995.

PANADES, G. et al. Mass transfer mechanisms occurring in osmotic dehydration of guava. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 87, n. 3, p. 386-390, 2008.

PANI, P. et al. Influence of an osmotic pretreatment on structure-property relationships of air-dehydrated tomato slices. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 86, n. 1, p. 105-112, 2008.

PARANÁ. Agência de Notícias do Paraná. **Município de Mallet é referência na produção de kiwi**. Curitiba: Secretaria da Comunicação Social, 5 maio 2015. Disponível em: <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=83967>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB). Departamento de Economia Rural. **Fruticultura: análise da conjuntura agropecuária**. [Curitiba]: dez. 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/fruticultura_2012_13.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

PARK, K. J. B. et al. Secagem: fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 93-127, 2014. Disponível em: <<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev161/Art16112.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

PARK, K. J. B. et al. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 83-94, 2008.

PARK, K. J. et al. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas: CT&EA–Centro de Tecnologia e Engenharia Agroindustrial, 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgWqEAI/conceitos-processo-secagem>>. Acesso em: 2 set. 2016.

PARK, K. J.; BIN, A. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pera bartlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 288-292, set./dez. 2001

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 56, n. 1, p. 97-103, 2003. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00152-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00152-8).

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pera (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, jan./abr. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v21n1/5368.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) Com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, jan. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612001000100016&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 04 abr. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612001000100016>.

PASSOS, O. **Ministra da Agricultura destaca potencial exportador do setor dos kiwis**. Observador, Lisboa, 17 abr. 2015. Agricultura. Disponível em: <<http://diarioagrario.blogspot.com.br/2015/04/ministra-da-agricultura-destaca.html>>. Acesso em 28 jan. 2016.

PAZ, M. F. et al. **Produção e caracterização do fermentado alcoólico de Actinidia deliciosa variedade Bruno produzido em Santa Catarina**. [Videira]: UNOESC, 2007.

PEIRÓ-MENA, R.; CAMACHO, M. M.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Compositional and physicochemical changes associated to successive osmodehydration cycles of pineapple (*Ananas comosus*). **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, n. 3, p. 842-849, 2007.

PENA, R. S. et al. Estudo da secagem da fibra residual do maracujá. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 1-13, 2008.

PÉREZ-ALONSO, C. et al. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 77, n. 4, p. 753-760, 2006.

PINEDO, A. A. **Secagem a vácuo de cenoura (*Daucus carota*) e abóbora (*curbita máxima*): estudo das características do processo**. 2003, 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Faculdade de Engenharia de alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

PRETTE, A. P. **Aproveitamento de polpa e resíduos de jaca (*Artocarpus heterophyllus lam.*) através de secagem convectiva**. 2012. 161 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

QUEIROZ, D. M. de. **Princípios básicos da secagem**. Centro Nacional de Treinamento e Armazenagem – CENTREINAR, 2003. Apostila. Disponível em: <www.ebah.com.br/content/ABAAAy8wAL/principios-basicos-secagem>. Acesso em: 2 set. 2016.

RAHMAN, S. **Food Properties Handbook**. London: CRC Press, 1995.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. **Lebensmittel wissenschaft und technologie = Food science and technology = Science et technologie alimentaire**, London, v. 37, n. 1, p. 43-47, 2004.

RESENDE, L. G. M. et al. Modelagem matemática da secagem de casca do fruto cambucá-preto (*Eugenia velutina berg.*) utilizando diferentes sistemas de secador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS – ENEMP, 37., 2015. São Carlos. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2015. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/enemp2015/SE-667.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

RESENDE, O; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2010.

RIBEIRO, E. P; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 2007.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H.; DATTA, A. K. **Engineering properties of foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005.

ROCHA, L. J. F. G. **Quantificação de alguns compostos bioativos das pitayas de polpas branca e vermelha (*Cereus undatus*, sinonímia: *Hylocereus guatemalensis*, *H. undatus*)**. 2012. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

ROJAS-BARQUERA, D.; NARVAEZ-CUENCA, C. E. Determinación de vitamina C, compuestos fenólicos, fenólicos totales y actividad antioxidante de frutas de guayaba (*psidium guajava* L.) cultivadas en Colombia. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 9, p. 2336-2340, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n9/v32n9a19.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2012.

ROMAN, G. N.; URBICAIN, M.J.; ROTSTEIN, E. Moisture equilibrium in apples data and theoretical considerations. **Journal of Food Science**, Champaign, v. 47, n. 5, p. 1484-1488, Sept. 1982.

ROSA, G. S.; MORAES, M. A.; PINTO, L. A. A. Moisture sorption properties of chitosan. **LWT: Food Science and Technology**, London, v. 43, n. 3, p. 415-420, 2010. DOI: 10.1016/j.lwt.2009.09.003.

SAFRA do kiwi está 20% menor no Estado. **A Vindima**, Flores da Cunha, n. 65, 23 abr. 2014. Disponível em: <<http://www.avindima.com.br/?p=6126>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

SALINAS, R. D. **Alimentos e nutrição**: introdução à bromatologia. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2002.

SALTMARCH, M.; LABUZA, T. P. Influence of relative humidity on the physiochemical state of lactose in spray-dried sweet whey powders. **Journal of Food Science**, Champaign, v. 45, n. 5, p. 1231-1236, 1980.

SÁNCHEZ, E. et al. Calorimetric techniques applied to the determination of isosteric heat desorption for potato. **Journal of the Science Food and Agriculture**, London, v. 74, p. 57-63, 1997.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J; NISHIYAMA, C.; HUBINGER, M. D. Qualidade final de melão osmoticamente desidratado em solução de sacarose com adição de ácidos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1803-1810, dez. 2002.

SANTOS, I. P. **Parâmetros de qualidade na produção de abacaxi desidratado**. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido)-Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011. Disponível em: <http://www.producaovegetal.com.br/arquivos_upload/editor/file/dissertacao_irani_santos.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2016.

SANTOS, P. C. P. et al. Composição centesimal e valor energético de pratos tradicionais do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO DE SEGURANÇA ALIMENTAR, 2. 2008, Bento Gonçalves. **Debatendo qualidade**. UFRGS: Bento Gonçalves, 2008. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/15316724-Composicao-centesimal-e-valor-energetico-de-pratos-tradicionais-do-rio-grande-do-sul.html>>. Acesso em: 4 jan. 2016.

SAQUET, A. A.; BRACKMANN, A. A cultura do kiwi. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 177-182, 1995.

SARAVACOS, G. D.; TSIOURVAS, D. A.; TSAMI, E. Effect of temperature on the water adsorption isotherms of Sultana raisins. **Journal of Food Science**, Champaign, v. 51, n. 2, p. 381-383, 1986.

SARAVIA, C. T. **Intermittent drying conditions in rice seeds**. 2006. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufpel.edu.br/bitstream/123456789/1444/1/tese_cristine_saravia.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2016.

SHESKIN, D. J. **Parametric and nonparametric statistical procedures**. 5. ed. Boca Raton: CRC, 2011.

SHIGEMATSU, E. et al. Influência de pré-tratamentos sobre a desidratação osmótica de carambolas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 536-545, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/00D/cta/v25n3/27024.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2016.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos: (métodos químicos e biológicos)**. Vicosa: Universidade Federal de Vicosa, 1981.

SILVA, J. S. et al. Secagem e secadores. In: SILVA, J. S. (Ed.). **Secagem e armazenagem do café: tecnologia e custos**. Viçosa: UFV; CBP & D - Café, 2001. cap. 5, p. 109-146. Disponível em: <<ftp://ftp.ufv.br/Inetpub/ftproot/Dea/Disciplinas/juarez/Secagem%20e%20Armazenagem%20Livro%20eletr%F4nico%20demonstra%E7%E3o/Cap%EDtulo%205.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2016.

SILVA, M. A.; SOBRAL, P. J. A.; KIECKBUSCH, T. G. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 77, n. 3, p. 426-432, 2006.

SILVA, M. R. et al. Composição em nutrientes e valor energético de pratos tradicionais de Goiás, Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 140-145, Dec. 2003. Suplemento. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612003000400026&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 4 abr. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612003000400026>.

SILVA, P. L. et al. Estudo da cinética de secagem e da atividade de água do cajá (*Spondias lútea*) em fatias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS (CBCTA), 19., 2004, Recife. **Anais...** Recife: SBCTA, 2004. 1 CD ROM.

SILVEIRA, S. V. et al. **Aspectos técnicos da produção de quivi**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2012. (Documentos, 79). Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/documentos/doc079.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2016.

SIMAL, S. et al. Water desorption thermodynamic properties of pineapple. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 80, n. 4, p. 1293-1301, 2007.
SIMAL, S. et al. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 43, n. 2, p. 109-114, 2005. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00139-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00139-9).

SNYDER, C. H. **The extraordinary chemistry of ordinary things**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. p. 492-493, 503-506, 507-509.

SOUSA, P. H. M. et al. Goiabas desidratadas osmoticamente seguidas de secagem em estufa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 414-416, dez. 2003.

SOUZA, P. V. D.; MARODIN, G. A. B.; BARRADAS, C. I. N. **Cultura do quiwi**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 1996.

SOUZA, S. J. F. **Estudo da atividade de água em co-produtos da indústria de sucos: sementes de maracujá, casca de laranja e cascas de manga**. 2015. 70 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos)-Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto. 2015.

SOUZA NETO, M. A. Processo agroindustrial: obtenção de um produto de manga por desidratação osmótica e complementação de secagem em estufa. **Comunicado Técnico. Embrapa Agroindústria Tropical**, Fortaleza, n. 99, p. 1-3, nov. 2004.

SPEIRS, C. I.; COOTE, H. C. **Solar drying: Practical methods of food preservation**. Geneva: International Labour Office, 1986.

SPIESS, W. E. L.; WOLF, W. F. The results of the COST 90 project on water activity. In: JOWITT, R. et al. **Physical properties of foods**. Roma: FAO, 1983. p. 65-91.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: Principles, applications and design**. Montreal: Gordon and Breach Science, 1986.

TEIXEIRA, J. S. C. **Influência de diferentes tratamentos na qualidade do kiwi cultivar Hayward' minimamente processado**. 2011. 166 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3045/1/TESE_Influ%C3%Aancia%20de%20diferentes%20tratamentos%20na%20qualidade%20de%20kiwi%20cultivar%20'Hayward'%20minimamente%20processado.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2016.

TEIXEIRA, M. B. F. **Secagem de manta em lula (Loligo brasiliensis)**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.

TELIS, V. R. N. et al. Drying rates of rubi grapes submitted to chemical pretreatments for raisin production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 503-509, 2006.

TELIS, V. R. N. et al. Water sorption thermodynamic properties applied to persimmon skin and pulp. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 343, n. 1/2, p. 49-56, 2000.

THÉ, P. M. P. **Efeitos da associação de tratamento hidrotérmico, cloreto de cálcio e atmosfera modificada sobre o escurecimento interno e qualidade do abacaxi cv.. Smoth Cayenne**. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

TIMMERMANN, E. O.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 48, n. 1, p. 19-31, Apr. 2001.

TOGNON, A. L. **Quantificação e avaliação da bioacessibilidade in vitro de micro e macroelementos em frutas, hortaliças e cereais**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestre em Química)-Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

TORREZAN, R. **Frutas**. Brasília, DF: EMBRAPA, Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC), [2016?]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fid57plx02wyiv80z4s4737f5asrp.html>. Acesso em: 14 mar. 2016.

TRAVAGLINI, D. A.; AGUIRRE, J. M.; SILVEIRA, E. T. F. Desidratação de frutas. In: AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas: ITAL, 2002. cap. 3, p. 3-1 a 3-19. (Manual Técnico).

TRICHES, D; SEBEN, M. **Análise da cultura do kiwi e seu papel para o desenvolvimento da região de Farroupilha RS: 1990/2000**. Versão 10.11.04. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, Instituto de Pesquisas Econômicas e Sociais, 2004. Disponível em: <https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/IPES_TS_012_NOV_2004.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2015.

TSAMI, E. Net isosteric heat of sorption in dried fruits. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 14, n. 14, p. 327-335, 1991.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Agricultural Research Service. **National nutrient database for standard reference: Release 28**. Washington, DC, 2016. Disponível em: <<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2253?manu=&fgcd=>>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO. Escola Paulista de Medicina. Departamento de Informática em Saúde. **Relatório básico: kiwi, fresco, cru**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://tabnut.dis.epm.br/index.php/alimento/09148/kiwi-fresco-cru>>. Acesso em: 25 out. 2015.

VEGA-GÁLVEZ, A. et al. Deshidratión osmótica de La papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 470-477, jul.-set. 2007.

VENEZUELA, T. C. **Determinação de contaminantes metálicos (metal tóxico) num solo adubado com composto de lixo em área olerícola no município de Nova Friburgo**. 2001. 96 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública)-Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz. Centro de Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2001.

VILLA-VÉLEZ, H. A. **Aplicações de secagem para o aproveitamento de resíduos da banana, visando sua aplicação na indústria.** 2011. 103 f. Dissertação (Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos)- Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2011.

VILLA-VÉLEZ, H. A. et al. Modelling thermodynamic properties of banana waste by analytical derivation of desorption isotherms. **International Journal of Food Engineering**, Berlin, v. 8, n. 1, p. 1-19, 2012.

WANG, N.; BRENNAN, J. G. Moisture sorption isotherm characteristics of potato at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 14, n. 4, p. 269-287, 1991.

WANG, Z. et al. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. **Food Research International**, Barking, v. 40, n. 1, p. 39-46, 2007.

WAUGHON, T. G. M.; PENA, R. S. Modelagem da secagem em camada delgada da fibra residual do abacaxi. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 26, n. 2, p. 297-306, 2008.

WEGMANN, A. **Kiwi**. [s.l.]: Fotos Antes e Depois, 2011. Disponível em: <<http://www.fotosantesedepois.com/wp-content/uploads/2011/07/koiu.jpg>>. Acesso em: 8 dez. 2015.

WILL, R. B. H.; LIM, J. S. K.; GREENFIELD, H. Composition of Australian foods: leafy, stem and other vegetables. **Food Technology in Australia**, Canberra, v. 38, n. 10, p. 416-421, Oct. 1986.

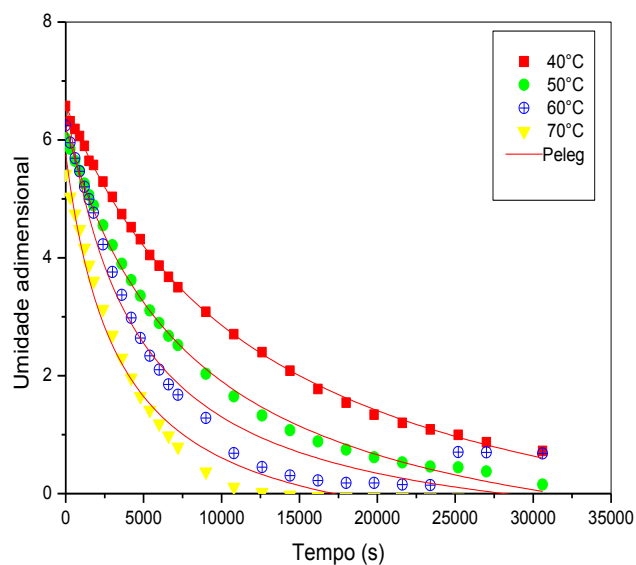
YAN, H. et al. Mechanism of lowering water activity of konjac glucomannan and its derivatives. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 26, n. 2, 383-388, Mar. 2012. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.02.018.

YOUSSEF, A. M.; EL-NABARAWY, Th.; SAMRA, S. E. Sorption properties of chemically-activated carbons 1: Sorption of cadmium (II) ions. **Colloids and Surfaces A. Physicochemical Engineering Aspects**, Amsterdam, v. 235, n. 1/3, p. 153-163, 2004.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, New York, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.

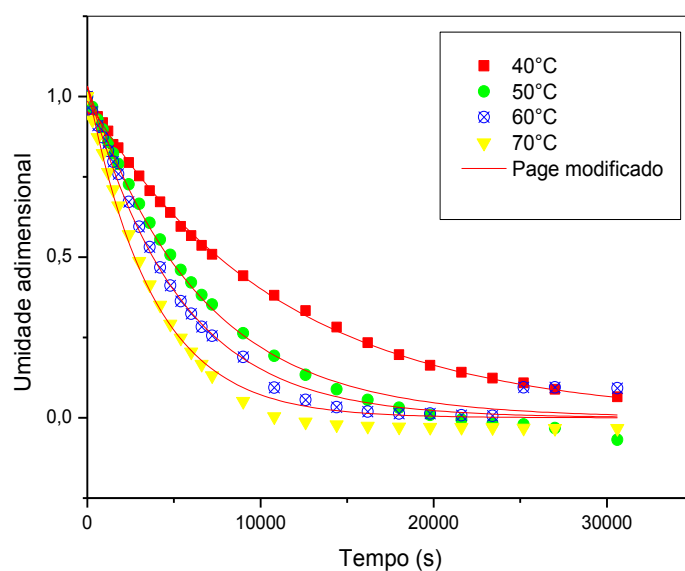
APÊNDICE

Figura A1 - Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Peleg nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.



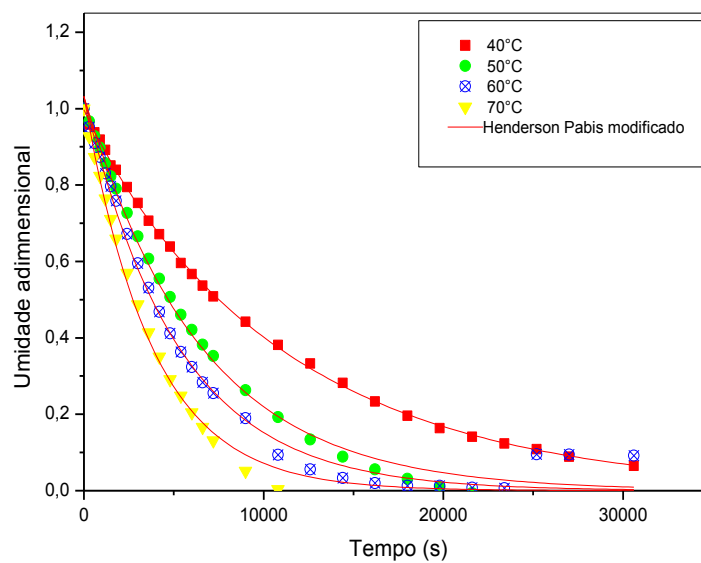
Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Figura A2 - Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Page modificado nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.



Fonte: Elaborado pela autora (2015).

Figura A3 - Curvas de secagem do kiwi pré-tratado com solução de sacarose comercial a 10%, ajustadas com o modelo empírico de Henderson-Pabis modificado nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C.



Fonte: Elaborado pela autora (2015).