



ARIANNE DANTAS VIANA

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM PULSO DE
VÁCUO DE FATIAS DE TOMATE CULTIVAR
CARMEN**

LAVRAS - MG

2014

ARIANNE DANTAS VIANA

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM PULSO DE VÁCUO DE FATIAS
DE TOMATE CULTIVAR CARMEN**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação de Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa

Coorientador

Dr. Jaime Vilela de Resende

LAVRAS - MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Viana, Arianne Dantas.

Desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomate cultivar carmen / Arianne Dantas Viana. – Lavras : UFLA, 2014.
167 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Jefferson Luiz Gomes Corrêa.

Bibliografia.

1. Secagem de alimentos. 2. Otimização. 3. Metodologia de superfície de resposta. 4. Solução ternária. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 664.805642

ARIANNE DANTAS VIANA

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA COM PULSO DE VÁCUO DE FATIAS
DE TOMATE CULTIVAR CARMEN**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação de Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 21 de fevereiro de 2014.

Dr. Jaime Vilela de Resende	UFLA
Dra. Soraia Vilela Borges	UFLA
Dra. Renata Valeriano Tonon	EMBRAPA/RJ
Dr. Marcelo Angelo Cirillo	UFLA

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa
Orientador

LAVRAS - MG

2014

*Dedico aos meus pais, Almino e Fátima,
aos meus irmãos Almino e Arielle e Vila,
pelo carinho, apoio e paciência.*

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão eterna ao nosso Deus maior, representado por Jesus Cristo, que é, e será meu suporte e guia pelo resto da minha vida. “Ó sangue e água que jorraste do coração de Jesus como fonte de sua misericórdia para nós, Jesus eu confio em vós!”

Ao Jefferson Luiz Gomes Corrêa, pela sua orientação, exemplo de docente, pesquisador, e pessoa, pela conduta, integridade, competência, paciência e enorme coração. Vou sentir saudades de você, Jefferson. Adotarei sempre os seus ensinamentos.

Aos professores da Banca examinadora: Jaime Vilela Resende, Soraia Vilela Borges, Renata Valeriano Tonon, Marcelo Angelo Cirillo pela participação e correções sugeridas.

Aos órgãos de fomento: À CAPES – Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior, pela bolsa de estudos de doutorado que me foi concedida; FAPEMIG e CNPq, pelo suporte financeiro ao desenvolvimento do trabalho.

Ao Departamento de Ciência dos Alimentos e Laboratório de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Lavras-UFLA, pela oportunidade proporcionada para a realização dos estudos de doutorado.

À Lucilene, da secretaria da Pós-graduação da UFLA.

Aos professores Eduardo Valério, Luiz Carlos, Luiz Ronaldo e Carlos Pimenta por permitirem a realização das análises de cor e Licopeno e umidade em seus laboratórios, especialmente as técnicas Tina e Creuza, além da aluna de pós-doutorado Heloísa.

Aos colegas do LEA e da Turma, Ariana, Kamilla, Letícia Fernandes, Letícia Almeida, Bruno, Dovel, Francemir e Marina, que sempre que puderam me ajudaram.

Às amigas adquiridas ao longo do curso Tânia Sulamytha, Ariana, Kamilla, Letícia, Mayara, Natália, Márcia e o amigo Carlos, vocês foram minha mão e meu braço direito. Tenho muita gratidão por vocês. Tânia, Monalisa, Kamilla e D. Marleide e família que me apoiaram na hora que mais precisei.

À minha família, pai, mãe, Almino, Arielle, Vila e Vilma, por toda ajuda, paciência, apoio e amor, principalmente.

Agradeço a todos aqueles que participaram e contribuíram para a realização do curso de doutorado em Ciência dos Alimentos. Não foi fácil, não.

Obrigada UFLA!

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar, pelo uso de delineamento experimental, os efeitos da temperatura, pressão e tempo do pulso de vácuo, concentração de sacarose e de cloreto de sódio na desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) de fatias de tomates, utilizando um planejamento Plackett Burman com 3 níveis e, em seguida, um Planejamento Composto Central Rotacional com 5 níveis. Desta forma, determinou-se as condições ótimas para os parâmetros de transferência de massa (perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e redução de peso (RP)), atividade de água (a_w), teor de umidade (X_{bu}), ganho de sal, parâmetros de cor (L^* , a^* , C_{ab} e ΔE) e teor de carotenóides (licopeno e β -caroteno). Foi verificado através do estudo utilizando o Planejamento Plackett Burman que as variáveis que mais influenciaram as respostas PA, GS, RP, a_w , X_{bu} , L^* , a^* , C_{ab} e ΔE foram a concentração de cloreto de sódio, concentração de sacarose, temperatura e pressão do pulso de vácuo. Sendo assim, a variável temperatura, pressão do pulso de vácuo, concentração de cloreto de sódio e concentração de sacarose foram selecionadas para a realização do planejamento fatorial composto central (DCCR). O tempo de aplicação do pulso de vácuo foi fixado em 10 minutos. Foram obtidas superfícies de respostas para as variáveis PA, GS, RP, a_w , X_{bu} . Os parâmetros de cor e carotenóides foram avaliados somente com relação aos efeitos significativos por terem apresentado baixos coeficientes de determinação. A condição ótima foi obtida depois da validação do modelo proposto para o máximo de PA, GS, RP, mínimo de atividade de água e teor de umidade $40^\circ\text{C}/56,25\text{mbar}/7,5\%[\text{NaCl}]$ e $32,5\%[\text{sacarose}]$, resultando em 42,22% de PA, 4,00% de GS, 36,06% de RP, 0,948 de a_w , 76,458% de teor de umidade. Utilizando-se a condição ótima foi realizada a cinética para PA, GS, RP, encolhimento e atividade de água e verificou-se a variação significativa com o tempo. Os valores de difusividade efetiva para a melhor condição do DCCR também foram obtidos utilizando-se o modelo hidrodinâmico de Fito (DO : $5,67 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ e PVOD: $8,25 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$) e o modelo unidirecional de Fick (DO_w : $3,19 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ e DO_s : $9,20 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$; PVOD_w: $3,48 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ e PVOD_s: $1,03 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$).

Palavras-chave: Secagem de alimentos. Otimização. Metodologia de superfície de resposta. Solução ternária.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the use of experimental design, the effects of temperature, pressure and time of pulsed vacuum concentration of sucrose and sodium chloride in the osmotic dehydration with vacuum pulse (PVOD) slices of tomatoes, using planning Plackett Burman with 3 levels and then a central composite rotational planning with 5 levels. Thus, we determined the optimal conditions for the parameters of mass transfer (water loss (WL), solid gain (SG) and weight reduction (WR)), water activity (a_w), moisture content (X_{bu}), salt gain, color parameters (L^* , a^* , ΔE , C_{ab}) and carotenoid (lycopene and β -carotene). Was verified by the study using the Planning Plackett Burman that the variables that most influenced the responses WL, SG, WR, a_w , X_{bu} , L^* , a^* , ΔE and C_{ab} were the concentration of sodium chloride, sucrose concentration, temperature and pressure of the vacuum pulse. Thus, variable temperature, pulse pressure, vacuum concentration of sodium chloride and sucrose concentration were selected for the realization of the central factorial design compound (DCCR). The time of application of vacuum pulse was fixed at 10 minutes. Response surfaces were obtained for the WL, SG, WR, a_w , X_{bu} variables. Color parameters and carotenoids were assessed only in relation to significant effects for introducing low coefficients of determination. The optimum condition was obtained after the validation of the proposed model for maximum WL, SG, WR, minimum water activity and moisture content 40 °C/56,25mbar/7,5 % [NaCl] and 32,5 % [sucrose], resulting in 42.22 % of WL, 4.00% of GS, 35.06 % of WL, 0.948 of a_w , 76.458 % moisture content. Using the optimum condition was performed kinetic WL, SG, WR, shrinkage and water activity and there was a significant variation with time. The values of effective diffusivity to the best condition of the DCCR were also obtained using the hydrodynamic model Fito (OD : $5.67 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$; PVOD : $8.25 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$) and the unidirectional model of Fick ($DO_w : 3.19 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ $DO_s : 9.20 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$; PVOD_w: $3.48 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$; PVOD_s: $1.03 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$).

Keywords: Drying food. Optimization. Response surface methodology. ternary solution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Esquematização da transferência de massa no processo da DO.....	22
Figura 2	Célula vegetal (simplificada)	22
Figura 3	Plasmólise	23
Figura 4	Mudanças na estrutura de todo tecido celular nos tratamentos DO e PVOD	43
Figura 5	Tomate em fatias	51
Figura 6	Detalhamento do sistema experimental	55
Figura 7	Superfície de resposta da perda de água em função da temperatura e da concentração de sacarose.....	84
Figura 8	Superfície de resposta do ganho de sólidos em função da temperatura [°C] e da concentração de sacarose[%]	91
Figura 9	Superfície de resposta da redução de peso em função da temperatura [°C] com a concentração de sacarose [%]	96
Figura 10	Superfície de resposta e de contorno da atividade de água em função: da temperatura e concentração de sacarose [%]	102
Figura 11	Superfície de resposta do teor de umidade em função da temperatura e concentração de sacarose para a PVOD de fatias de tomates	108
Figura 12	Superfície de resposta do ganho de sal em função da concentração de cloreto de sódio [%] e concentração de sacarose [%]	114
Figura 13	Cinética da perda de água (PA) para PVOD e DO.....	127
Figura 14	Cinética do ganho de sólidos para PVOD e DO	128
Figura 15	Cinética para a redução de peso (RP).....	130
Figura 16	Cinética do encolhimento PVOD de fatias de tomate	131

Figura 17	Razão do encolhimento em função da umidade em base úmida..	133
Figura 18	Cinética da atividade de água.....	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Matriz do planejamento PB para 15 ensaios.....	58
Tabela 2	Matriz do planejamento fatorial composto central para 28 ensaios	61
Tabela 3	Composição centesimal do tomate <i>in natura</i>	67
Tabela 4	Valores dos efeitos estimados para as respostas PA, GS e RP	69
Tabela 5	Valores dos efeitos estimados para a resposta a atividade de água 70	
Tabela 6	Valores dos efeitos estimados para a resposta razão do teor de umidade	71
Tabela 7	Valores dos efeitos estimados para o ganho de sal.....	72
Tabela 8	Valores dos efeitos estimados para as respostas razão de cor L^* , a^* , b^* , ângulo Hue(H_{ab}), Chroma (C_{ab}) e diferença total de cor ΔE_{73}	
Tabela 9	Valores dos efeitos estimados para a resposta teor de carotenóides (licopeno e β -caroteno).....	74
Tabela 10	Resultados dos parâmetros de qualidade para as condições de experimento estudadas.....	75
Tabela 11	Níveis dos fatores utilizados no planejamento composto central para a desidratação osmótica de fatias de tomates	77
Tabela 12	Valores e desvios padrões da perda de água da PVOD de fatias de tomates	78
Tabela 13	Efeitos estimados para a resposta perda de água.....	80
Tabela 14	Análise de variância para a resposta perda de água.....	83
Tabela 15	Valores e desvios padrões do ganho de sólidos da PVOD de fatias de tomates.....	85

Tabela 16	Efeitos estimados para a resposta do Ganho de sólidos.....	87
Tabela 17	Análise de variância para a resposta ganho de sólidos	90
Tabela 18	Valores e desvios padrões da Redução de peso da PVOD de fatias de tomates.....	92
Tabela 19	Efeitos estimados para a resposta Redução de peso	94
Tabela 20	Análise de variância para a resposta redução de peso	95
Tabela 21	Valores e desvios padrões da atividade de água da PVOD de fatias de tomates.....	97
Tabela 22	Efeitos estimados para a resposta atividade de água	99
Tabela 23	Análise de variância para a resposta atividade de água	101
Tabela 24	Valores e desvios padrões do teor de umidade da PVOD de fatias de tomates.....	103
Tabela 25	Efeitos estimados para a resposta teor de umidade	106
Tabela 26	Análise de variância para a resposta teor de umidade	107
Tabela 27	Valores e desvios padrões do ganho de sal da PVOD e fatias de tomates	109
Tabela 28	Efeitos estimados para a resposta ganho de sal.....	111
Tabela 29	Análise de variância para a resposta do ganho de sal	113
Tabela 30	Valores obtidos e seus respectivos desvios médios dos parâmetros de cor obtidos na PVOD de fatias de tomates.....	115
Tabela 31	Efeitos estimados para os parâmetros de cor na PVOD de fatias de tomates.....	118
Tabela 32	Análise de variância para as respostas parâmetros de cor L*, a*, b*, C _{ab} , H _{ab} , ΔE	121
Tabela 33	Valores obtidos e seus respectivos desvios padrões dos teores de carotenóides (licopeno e βcaroteno (mg/100g)) de fatias de tomates.....	123

Tabela 34	Efeitos estimados para o teor de carotenóides (teor de licopeno e β -caroteno)	124
Tabela 35	Análise de variância para a resposta parâmetro do teor de carotenóides (licopeno e β -caroteno).....	126
Tabela 36	Parâmetros de ajustes obtidos pelos modelos de Fito e Fick para DO e PVOD.....	136

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Tomate (<i>Solanum Lycopersicon</i> ; Solanaceae)	19
2.2	Tomate processado	20
2.3	Desidratação osmótica	20
2.4	Fatores que afetam a DO	24
2.4.1	Natureza do produto	24
2.4.2	Composição/concentração do meio osmótico	25
2.4.3	Relação solução/produto	29
2.4.4	Agitação da Desidratação Osmótica	30
2.4.5	Temperatura da Desidratação Osmótica	32
2.4.6	Forma de contato e tempo de duração do processo	35
2.5	DO de Tomate	37
2.6	Usos do pulso de vácuo na desidratação osmótica (PVOD)	42
3	MATERIAL E MÉTODOS	50
3.1	Material	50
3.2	Preparo da matéria-prima	50
3.3	Caracterização do material	51
3.4	Sistema experimental	54
3.4.1	Preparo da solução osmótica	55
3.4.2	Processamento osmótico	55
3.5	Planejamento experimental da desidratação osmótica a vácuo (PVOD)	57
3.6	Determinação da relação entre as principais variáveis e seus melhores níveis	60
3.7	Determinação dos melhores níveis das variáveis operacionais do processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomates	60
3.8	Otimização dos resultados das variáveis obtidas no Planejamento Composto Central Rotacional	62
3.9	Modelo de difusão unidirecional	62
3.10	Modelo hidrodinâmico	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1	Composição do tomate <i>in natura</i>	67
4.2	Desidratação osmótica de fatias de tomate	67
4.3	Plackett Burman (PB)	68

4.3.1	Efeitos estatísticos de PA, GS e RP em PVOD de fatias de tomate.....	68
4.3.2	Efeitos estatísticos da atividade de água em PVOD de fatias de tomate.....	69
4.3.3	Efeitos estatísticos de teor de umidade da PVOD de fatias de tomate.....	70
4.3.4	Efeitos estatísticos do ganho de sal em PVOD de fatias de tomate.....	71
4.3.5	Efeitos estatísticos dos parâmetros de cor em PVOD de fatias de tomate.....	72
4.3.6	Efeitos estatísticos da razão de concentração de licopeno e β -caroteno em PVOD de fatias de tomate.....	74
4.4	Planejamento composto central rotacional.....	74
4.4.1	Determinações dos melhores níveis das variáveis operacionais do processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomate.....	76
4.4.2	Níveis dos fatores utilizados no DCCR.....	76
4.4.3	Matrizes do planejamento fatorial composto central e os resultados obtidos para cada variável.....	77
4.4.4	Perda de água.....	78
4.4.5	Ganho de sólidos.....	85
4.4.6	Redução de peso.....	92
4.4.7	Atividade de água.....	97
4.4.8	Teor de umidade.....	103
4.4.9	Ganho de sal.....	108
4.4.10	Análise dos parâmetros de cor.....	115
4.4.11	Teor de carotenóides.....	122
4.5	Cinética de PA, GS.....	127
4.6	Cinética de encolhimento.....	130
4.7	Cinética de atividade de água.....	134
4.8	Difusividade efetiva.....	135
5	CONCLUSÃO.....	139
	REFERÊNCIAS.....	140
	APÊNDICES.....	161

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, os consumidores têm exigido produtos alimentares processados práticos que forneçam propriedades específicas tanto de boa qualidade sensorial quanto nutricional. Neste sentido um grande esforço tem sido feito na tecnologia de alimentos para atender as exigências dos consumidores, de modo que se torna necessária à otimização das condições de processamento do tomate, a fim de alcançar certas características relacionadas com a cor, teor de água, teor de carotenóides, textura, dentre outros (HEREDIA; BARRERA; ANDRES, 2007; HEREDIA et al., 2009).

Uma combinação adequada de técnicas de desidratação torna-se uma alternativa no processamento de tomates reduzindo as alterações indesejáveis que ocorrem, e melhorando a eficiência do processo. (HEREDIA et al., 2007).

A implementação da desidratação osmótica (DO) permite a obtenção de produtos com atividade de água ao redor de 0,90 segundo Lenart e Lewicki (2006), sendo por isso essa técnica bastante utilizada como um estágio preliminar para a secagem (AL-HARAHSEH; AL-MUHTASEB; MAGEE, 2009; CORRÊA et al., 2008; HEREDIA et al., 2012), congelamento (DERMESONLOUOGLOU; GIANNAKOUROU; TAOUKIS, 2007) e ou para produção de produtos minimamente processados (RODRIGUES; FERNANDES, 2006; TORRES et al., 2008) para melhorar a qualidade dos produtos convencionais (MONNERAT et al., 2006).

O processo de DO envolve a imersão do alimento (frutas, vegetais, carnes de diversas origens, queijos dentre outros) com uma solução hipertônica, com atividade de água (a_w) inferior à do produto, o que gera uma diferença de potencial químico resultando numa diferença de pressão osmótica entre o alimento e a solução osmótica, levando a remoção de água através de membranas semipermeáveis do alimento e transferência de soluto da solução

osmótica para o alimento (AL-MUHTASEB et al., 2010; MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011).

A desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) implica na aplicação de vácuo no início do processo com posterior restabelecimento da pressão atmosférica (GUILLEMIN et al., 2008; LOMBARD et al., 2008). Devido a essa diferença de pressão ocorre o Mecanismo Hidrodinâmico (HDM), com a retirada de gases oclusos no alimento e o ingresso da solução osmótica no interior dos poros por capilaridade (espaços intercelulares) (FITO et al., 2001). Este mecanismo favorece o aumento da área de contato entre a fruta e a solução, reduz a atividade de água, e, conseqüentemente, favorece a transferência de massa (DENG; ZHAO, 2008).

As características físicas e químicas do produto obtido tanto por DO quanto por PVOD podem sofrer influência das variáveis do processo, como temperatura, razão produto/solução, concentração da solução osmótica e tipos de solutos utilizados na solução osmótica. Além dessas variáveis a PVOD ainda pode sofrer influência do período do pulso de vácuo e da intensidade da pressão do vácuo.

Este trabalho teve como objetivos estudar a desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomate da cultivar Carmen utilizando diferentes condições de processo (temperatura, pressão e tempo do pulso de vácuo, concentração de cloreto de sódio e de sacarose) para obtenção de respostas em termos dos valores de qualidade do produto como perda de água, ganho de sólidos, redução de peso, atividade de água, teor de umidade, parâmetros de cor e teor de carotenóides.

Como objetivo específico foi também estudada a cinética de PVOD da melhor condição obtida no Planejamento Composto Central Rotacional com o objetivo de demonstrar o encolhimento, perda de água, ganho de sólidos, redução de peso, atividade de água, além de selecionar os melhores fatores e

definir as melhores condições como temperatura, pressão e tempo do pulso de vácuo, concentração de cloreto de sódio e de sacarose para a PVOD de fatias de tomate. Além do ajuste de modelos de Fito e Fick para obtenção dos valores de difusividade específica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tomate (*Solanum Lycopersicon*; Solanaceae)

O tomate é uma das mais importantes hortaliças cultivadas no mundo. O Brasil é um dos principais produtores mundiais. A produção mundial de tomates na safra 2012 dimensionada pela WPTC (*The World Processing Tomato Council*) situou-se em 33,538 milhões de toneladas. Na América do Sul, o Brasil é o maior produtor, com 64.894 hectares de área plantada, acumulando uma produção anual de 4,09 milhões de toneladas (BELCHIOR; BRASILEIRO, 2012).

O tomate é uma hortaliça do tipo fruto maduro polpudo e macio, pertencente à família *Solanaceae*, espécie *Lycopersicon esculentum* Mill. É fonte precursora de nutrientes como de vitaminas A (licopeno e betacaroteno). Possui de 93 a 97% de umidade (SANINO; CORTEZ; MEDEROS, 2003). Pode ser consumido tanto fresco quanto processado, como o tomate seco, que é utilizado como ingrediente para pizzas, com outros vegetais e pratos temperados (MARFIL; SANTOS; TELIS, 2008).

Este fruto classifica-se como climatérico, ou seja, o aumento na taxa respiratória ocorre tanto no fruto preso à planta como após a colheita e o amadurecimento só se completa algum tempo após o pico climatérico, ocorrendo modificações na textura da polpa e transformações na cor, do verde para o vermelho. Apresenta vida de prateleira de aproximadamente uma semana, dependente das condições pós-colheita, transporte e armazenamento (CHITARRA; CHITARRA, 2005; SANINO; CORTEZ; MEDEROS, 2003).

Andreuccetti et al. (2005) detectaram que as cultivares que predominam no mercado brasileiro são Carmen e Débora. E o híbrido Carmen está há mais

tempo no mercado e apresenta uma produtividade muito boa (GUALBERTO; OLIVEIRA; GUIMARÃES, 2007).

2.2 Tomate processado

A industrialização do tomate processado compreende a transformação primária e a transformação secundária, as quais se integram e se complementam. O segmento de transformação primária, que consiste na obtenção de produtos intermediários destinados ao posterior processamento e/ou à fabricação de produtos formulados, não é padronizado (EMBRAPA, 2006).

Neste contexto, estudos de novas formas de obtenção de produtos intermediários do tomate são interessantes, e entre as diversas possibilidades, a desidratação representa uma excelente alternativa, objetivando evitar perdas, reduzir oferta excessiva do fruto no período da safra, levando a desvalorização do produto, além de permitir agregação de valor com o fornecimento de produtos processados (SILVA et al., 2010).

2.3 Desidratação osmótica

A desidratação osmótica tem sido utilizada seguida por operações de secagem (AL-HARAHSEH; AL-MUHTASEB; MAGEE, 2009; CORRÊA et al., 2008; FANTE et al., 2011; HEREDIA et al., 2012), congelamento diminuindo a quantidade de cristais formados durante o processo (DERMESONLOUOGLOU; GIANNAKOUREOU; TAOUKIS, 2007), e também para produção de produtos minimamente processados (RODRIGUES; FERNANDES, 2006; TORRES et al., 2008) dentre outros, para melhorar a qualidade dos produtos convencionais (MONNERAT et al., 2006).

O principal carotenóide responsável pela pigmentação vermelha do tomate maduro é o licopeno. É um hidrocarboneto polieno, acíclico que possui 13 bandas duplas, sendo que 11 são conjugadas e arrançadas linearmente na forma *trans* e 7 podem sofrer isomerização da forma *trans* para a forma *cis*, sob a influência do calor, concentração da solução, dentre outros fatores. Em muitos casos a biodegradação de tomates desidratados ocorre por isomerização e por oxidação e na desidratação osmótica o mecanismo predominante é a isomerização de licopeno (FERREIRA et al., 2004).

O aquecimento ou cozimento, quando não em excesso, pode aumentar a biodisponibilidade do licopeno, por promover a ruptura das células e liberar o licopeno, favorecendo, assim, sua absorção para o organismo.

A DO consiste na imersão de um alimento (frutas, vegetais, carnes de diversas origens, queijos dentre outros) em uma solução hipertônica, cuja atividade de água (a_w) seja inferior à do produto (MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011).

O gradiente de potencial químico que resulta em gradiente de pressão osmótica entre o alimento e a solução osmótica, ou gradiente de atividade de água do sistema promove dois fluxos contracorrente principais: a transferência parcial de água do interior do alimento para a solução osmótica e a difusão de soluto da solução osmótica para o alimento (MAYOR; MOREIRA; SERENO, 2011). A soma destes dois fluxos irá resultar em uma mudança de massa líquida que tem uma influência sobre o rendimento do processo osmótico (GARCÍA et al., 2010).

Há, ainda, um terceiro fluxo, da lixiviação de alguns solutos naturais (açúcares, ácidos, minerais, etc) do produto para a solução de imersão (DEVIC et al., 2010), que mesmo sendo baixo, em termos quantitativos, pode ter efeitos importantes na qualidade do produto (HENG; GUILBERT; CUQ, 1990;

JUSTUS, 2012; TORREGGIANI; BERTOLO, 2001). A figura 1 esquematiza o processo da DO.

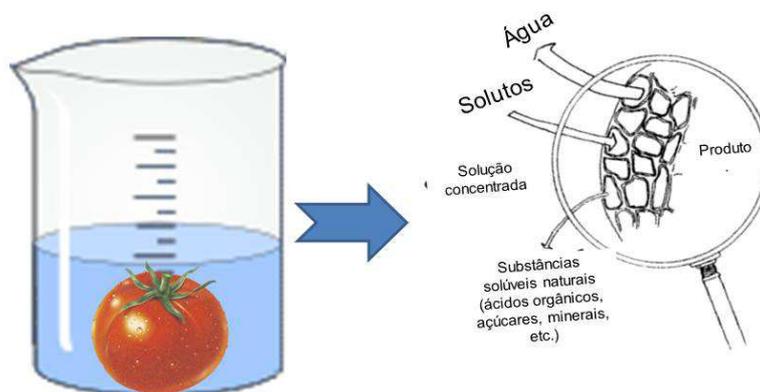


Figura 1 Esquematização da transferência de massa no processo da DO

A célula vegetal unidade fundamental dos vegetais participa do processo osmótico por ser simplesmente retratada como uma unidade constituída de dois componentes principais: a parede celular e os protoplastos (Figura 2).

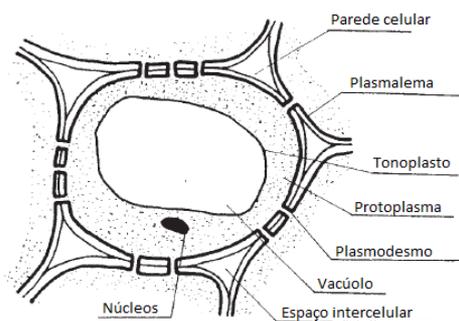


Figura 2 Célula vegetal (simplificada)
Fonte: (LENART; LEWICKI, 2006)

A parede celular é permeável à água e compostos de baixo peso molecular e não é uma barreira no transporte de solutos. É perfurada e os canais são preenchidos com finas vertentes de protoplasma, assegurando o contato entre protoplastos de células vizinhas (LENART; LEWICKI, 2006).

Se a célula e os seus arredores têm a mesma pressão osmótica então a pressão de turgor é zero e o sistema está em equilíbrio termodinâmico. Já se uma célula for colocada em uma solução hipertônica (pressão osmótica maior que a da célula) irá perder água. A desidratação de uma célula causa diminuição do volume de protoplastos e, em consequência, a liberação do plasmalema da parede celular, ou seja, ocorrem modificações na permeabilidade da membrana plasmática. Este processo é chamado de plasmólise (SEGUÍ; FITO; FITO, 2010) (Figura 3).

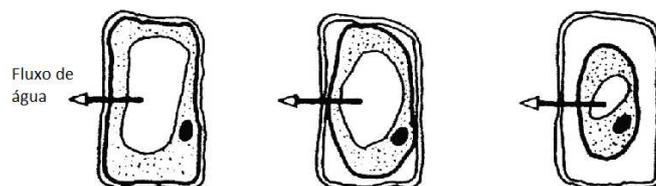


Figura 3 Plasmólise
Fonte: (LENART; LEWICKI, 2006)

Como a parede celular é permeável e o material vegetal é considerado um corpo capilar poroso, o volume entre a parede celular e o plasmalema é preenchido com a solução hipertônica munida de alta pressão osmótica e a força motriz responsável pela difusão de água do interior dos tecidos para a solução provoca a perda de água (RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004). Dois espaços são responsáveis pelo transporte de água e de solutos nas células - o apoplasto e o simplasto. O apoplasto é definido como um "continuum" entre as paredes celulares, espaços intercelulares e os vasos xilemáticos. Considera-se como

simplasto o citoplasma e membranas de todas as células vivas. Muitas vezes, faz-se referência ao simplasto como uma unidade devido à existência dos plasmodesmos, que permitem a passagem de solutos (TYERMAN et al., 1999).

Os produtos obtidos pelo processo de desidratação osmótica apresentam atividade de água ao redor de 0,90 segundo Lenart e Lewicki (2006), ou seja, são produtos com baixa redução na atividade de água com relação ao produto fresco, sendo por isso essa técnica bastante utilizada como um estágio preliminar para a secagem, pasteurização, congelamento ou liofilização.

2.4 Fatores que afetam a DO

A taxa de remoção de água bem como a de entrada de solutos no alimento pode ser influenciada por diversos fatores; dentre eles destacam-se:

A natureza do produto (espécie, variedade, nível de maturação, forma e tamanho) e as variáveis do processo como: composição/concentração do meio osmótico, relação solução/produto, agitação, temperatura, forma de contato e tempo de duração do processo são fatores que podem afetar a DO.

Consequentemente, afetam os fluxos de massa, levando a mudanças nas propriedades estruturais e de transporte, tais como volume, dimensão, viscosidade, densidade, porosidade, perda de água, perda de peso, ganho de sólidos, dentre outros (CASTRO-GIRÁLDEZ; FITO; FITO, 2011; CHIRALT; TALENS, 2005; LENART; LEWICKI, 2006; SIMAL, 1998).

2.4.1 Natureza do produto

É importante ligar as variáveis do processo (composição/concentração do meio osmótico, relação solução/produto, agitação, temperatura, forma de

contato e tempo de duração do processo) durante a desidratação osmótica com as características de composição e mecânicas do tecido da matéria-prima utilizada.

A alta variabilidade destes parâmetros pode ser atribuída à variabilidade da microestrutura, em particular a porosidade da matéria-prima, o que implica diferentes níveis de impregnação (LOMBARD et al., 2008). Mudanças estruturais entre variedades podem alterar a porosidade, de modo que diminui a difusão de soluto, como sacarose (CHIRALT; TALENS, 2005).

A seleção do cultivar adequada, do fruto no grau de maturidade ideal (sabor, tamanho, aparência e textura) é essencial para obtenção de produtos de qualidade que se encaixam no grau de aceitabilidade pelo consumidor. Deve ser feita baseando-se no destino a ser dado ao produto. É importante que estas cultivares tenha boa aclimatação, bom rendimento e que sejam bem aceitas pelo público consumidor. Por exemplo, o tomate destinado ao consumo direto é colhido mais verde, enquanto que para a indústria este deve estar mais maduro (LOBO, 2002).

2.4.2 Composição/concentração do meio osmótico

A composição e concentração da solução desidratante são fatores de grande importância no estudo de desidratação osmótica, uma vez que apresentam grande influência no processo de difusão do soluto no alimento. A determinação dos perfis de concentrações e os coeficientes de difusão podem contribuir para explicar o processo osmótico, e os mecanismos de transferência de massa, incluindo a sua influência sobre os processos subsequentes, como de secagem por convecção (MONNERAT et al., 2010).

O controle efetivo das principais variáveis que interferem na desidratação osmótica pode fazer com que o processo de imersão resulte em duas situações opostas: uma em que predomina a desidratação (quando a perda

de água é maior que o ganho de soluto, geralmente é utilizado soluto com alto peso molecular) e outra em que há predominância da impregnação (favorecidos por solutos com baixo peso molecular), ou seja, quando a perda de água é menor que o ganho de soluto (RAOULT-WACK, 1994).

Os solutos de alto peso molecular levam ao aumento significativo da razão PA / GS em comparação com os outros agentes osmóticos favorecendo a perda de peso, isto pode ser devido à baixa difusividade de substâncias com peso molecular elevado (ATARES; CHIRALT; MARTINEZ, 2008; BORIN et al., 2008; BUI; MAKHLOUF; RATTI, 2009; CHENLO, 2002; CHENLO et al., 2006; FERRANDO, 2001; MAYOR et al., 2006; MONNERAT et al., 2010; RAOULT-WACK, 1994) ou como impregnantes favorecidos por solutos com baixo peso molecular (BARRERA et al., 2009; BLANDA et al., 2007; MORENO et al., 2011).

Os agentes osmóticos mais comumente utilizados nas soluções binárias (carboidratos/água ou sal/água) ou ternárias (carboidrato/sal/água) são os monossacarídeos (glicose, frutose), dissacarídeos (sacarose, maltose, trealose), polissacarídeos (gomas), sais inorgânicos (cloreto de sódio, cloreto de cálcio) e álcoois (sorbitol, polióis). Os agentes osmóticos mais comumente utilizados são sacarose e cloreto de sódio (TELIS; MURARI; YAMASHITA, 2004).

A aplicabilidade do agente osmótico é baseada na capacidade de favorecer a taxa de perda de água, o teor de água final no produto, a quantidade de substância que penetra no material osmodesidratado, na atividade de água, na alta solubilidade em água, baixo custo e efeito positivo sobre as propriedades sensoriais e nutricionais e a estabilidade final do produto (AZOUBEL; MURR, 2004; CHENLO et al., 2006; RÓZEK et al., 2009).

As soluções que possuem carboidratos são utilizadas principalmente para desidratar frutas. O carboidrato mais utilizado é a sacarose, pois apresenta baixo custo, capacidade de reduzir o escurecimento enzimático, e aumentar a

estabilidade de pigmentos durante o processo de estocagem. Além disto, a sua presença na superfície do material representa um obstáculo ao contato com o oxigênio (TONON; BARONI; HUBINGER, 2006). E soluções de glicerol, xarope de amido e cloreto de sódio são usadas para desidratar vegetais, peixes e carnes (MONNERAT et al., 2010).

Os sistemas ternários promovem efeito sinérgico dos solutos utilizados na solução desidratante. A eficácia do tratamento dependerá da utilização adequada dos agentes osmóticos (MAYOR et al., 2011). A desidratação osmótica em soluções ternárias de sacarose/NaCl/água permite o uso de concentrações maiores de solutos, sem que se atinja o limite de saturação das soluções, além de aumentar a perda de água em comparação com as soluções binárias salinas (BOHUO; COLLIGNAN; RIOS, 1998; HEREDIA et al., 2007).

Particularmente o cloreto de sódio produz uma forte redução da atividade de água da solução osmótica e aumento da pressão osmótica em comparação a concentração de sacarose. Devido ao tamanho reduzido dos íons de cloreto e sódio ambos permeiam nos tecidos durante a imersão na solução osmótica e se associam como cristais de NaCl, inserindo nos compartimentos celulares, devido a forte força motriz que conduz a maior saída de água do produto atingindo alto conteúdo de soluto osmótico, chamado de ganho de sólidos (AL-MUHTASEB et al., 2010; AZOUBEL; MURR, 2004; HEREDIA et al., 2009).

Numa solução ternária de sacarose/NaCl/água, o NaCl pode inibir o efeito que a sacarose produz na formação de crosta na superfície do produto. Enquanto a sacarose em comparação com o cloreto, devido ao seu maior peso molecular favorece o aumento da viscosidade da solução, impede a entrada dos sais nas células, pois reduz o gradiente de concentração entre a solução e o produto que aumenta a resistência adicional à troca de massa, ou seja, tem sido um fator de controle da transferência de massa (BUI; MAKHLOUF; RATTI,

2009; RAOULT-WACK, 1994). Além disso, na desidratação osmótica, os açúcares substituem as moléculas de água, no caso da membrana celular, estabilizando os fosfolípídeos e as proteínas de forma a evitar o colapso celular (FERRANDO, 2001).

Quanto maior a proporção da perda de água / ganho de solutos, maior é a eficiência do processo de desidratação osmótica. Apesar do menor consumo de sal, a solução ternária resultante da presença deste componente é responsável por uma melhor redução do teor de água, quando comparado com os resultados da solução binária de sacarose (MONNERAT et al., 2010). Este comportamento pode ser devido a um maior potencial do sal para reduzir a atividade de água da solução (MONNERAT et al., 2006, 2010). Ainda há um efeito antagonista entre o sal-sacarose sobre a perda de água, o aumento do potencial químico da solução ternária quando a concentração de ambos os solutos aumenta (ANTONIO et al., 2008).

Açúcares com elevada massa molecular, dissacarídeos e polissacarídeos como é o caso da sacarose, maltose, trealose e soluções ternárias acarretam a diminuição do ganho de sólidos e aumento da perda de água, quando os solutos se apresentam em concentrações máximas, favorecem a perda de massa e, conseqüentemente, o processo de desidratação, de modo a evitar um impacto negativo nas propriedades sensoriais do produto, por consequência da indesejável e elevada impregnação de sólidos que depende das características do produto (ANTONIO et al., 2008; ATARES; CHIRALT; GONZALEZ-MARTINEZ, 2008; FERRARI et al., 2005).

Os sacarídeos de baixa massa molecular como a glicose, frutose, polióis (sorbitol) e xarope de milho, favorecem o ganho de açúcares por causa da alta velocidade de penetração das moléculas nos tecidos vegetais, aumentando o ganho de sólidos e reduzindo a perda de água, favorecendo o processo de impregnação e desfavorecendo o processo de desidratação (DIONELLO et al.,

2007; FERRANDO, 2001). Dermesonlouoglou, Giannakourou e Taoukis (2007) verificaram esse comportamento ao trabalhar com soluções osmóticas alternativas para desidratação de tomates.

Telis, Murari e Yamashita (2004) estudaram a desidratação osmótica de tomate e verificaram que a difusividade efetiva do cloreto de sódio diminuiu com o aumento da concentração de sacarose. A massa de sacarose contribui para diminuir o teor de sal na massa seca total, após 2 horas de DO, já que o ganho de sal ocorre preponderadamente na primeira hora, período que ocorre grande saída de água (BORIN et al., 2008).

Elaouar et al. (2006) ao estudarem a influência do agente osmótico na desidratação osmótica de papaya (*Carica papaya L.*) verificaram que a concentração da solução osmótica foi o efeito mais importante na redução de peso e perda de água, seguido pelo tempo de imersão e temperatura da solução osmótica.

Por outro lado a utilização de soluções osmóticas concentradas pode reduzir as perdas de solutos hidrossolúveis, como ácido ascórbico, formando uma camada periférica concentrada em soluto protegendo contra o arraste dos mesmos (RAOULT-WACK, 1994).

2.4.3 Relação solução/produto

A relação de massa do agente osmótico com a fruta também tem influência significativa sobre a desidratação osmótica (DALBEN et al., 2012).

Maior relação solução / fruta favorece a remoção de maior umidade, conseqüente perda de água e maior absorção de soluto, além de evitar alterações de concentração da solução. Por outro lado, pequena razão solução:fruta pode provocar a diluição da solução osmótica pela água removida do produto

resultante de um gradiente de concentração menor e, conseqüentemente, uma redução da perda de água (FALADE; IGBEKA, 2007).

Dalben et al. (2012) observaram que os valores mais elevados de conteúdo de umidade da desidratação osmótica de carambolas em fatias foram encontrados nos pontos com a maior razão fruto: solução (razão 1:2,1), ou seja, a perda de água observada nos processos realizados com uma pequena quantidade de solução foi menor. Isto poderia ser atribuído ao fato de que a solução osmótica foi diluída pela água removida a partir do produto resultante com um gradiente de concentração menor e, conseqüentemente, uma redução da perda de água.

Manivannan e Rajasimman (2011) observaram que o aumento da razão solução:fruto (5:1 – 25:1) da desidratação osmótica de beterrabas em solução de sacarose, resultou no aumento da perda de água, ganho de sólidos e redução de peso, sendo a razão ideal solução/amostra 17,5:1 (w/w).

2.4.4 Agitação da Desidratação Osmótica

Os procedimentos da DO podem ser realizados de dois modos, estático ou dinâmico (sob agitação) (LENART; LEWICKI, 2006).

No modo dinâmico, a velocidade de agitação pode influenciar os coeficientes de transferência de massa da água, indicando a presença de uma resistência de transferência de massa na solução osmótica (TONON; BARONI; HUBINGER, 2007). Ou seja, a agitação diminui a camada limite em torno do alimento, aumentando assim a difusão e reduzindo gradientes de concentração localizados (FALADE; IGBEKA, 2007).

A aplicação de sistemas de agitação acelera o equilíbrio de concentração e aumenta a relação de perda de água (PA) e ganho de solutos (GS) favorecendo

a desidratação, especialmente durante a primeira hora de tratamento (MAVROUDIS; GEKAS; SJÖHOLM, 1998).

Dionello et al. (2007) ao estudarem a imersão-impregnação de abacaxi observaram que as maiores perdas de massa foram obtidas ao se aumentar a temperatura das soluções mais concentradas, mantendo-as sob agitação durante a desidratação osmótica, evidenciando que as amostras que sofreram agitação apresentaram para a maioria dos tratamentos, maior redução de massa do que as amostras que não foram agitadas.

Moreira e Sereno (2003), ao estudarem a desidratação osmótica de cilindros de maçã em condições estáticas e não estáticas, verificaram que as taxas de desidratação aumentaram com o aumento crescente do fluxo de solução. Além disso, as amostras apresentaram menor teor de umidade de equilíbrio, quando comparado com os processos executados em condições estáticas. Por outro lado, o ganho em sólidos não foi afetado pela agitação.

Tonon, Baroni e Hubinger (2007) verificaram que a velocidade de agitação influenciou positivamente a perda de água durante todo o processo. Comportamento também verificado na desidratação de tomates (BUI; MAKHLOUF; RATTI, 2009). Quanto maior a velocidade de agitação, maior o coeficiente de transferência de massa de água (k_w), indicando a presença de uma resistência externa à transferência de massas de água na solução osmótica, e provando que o transporte de água não só é controlada por um mecanismo interno. O efeito positivo da velocidade de agitação no transporte de água pode ser explicado pelo fenômeno de diluição que ocorreram na interface sólido-líquido, assim como a fruta foi colocada em contato com a solução osmótica.

Corrêa et al. (2007) nos estudos sobre a desidratação osmótica de tomate com solução de cloreto de sódio, verificaram que o aumento da agitação influenciou na redução da umidade.

2.4.5 Temperatura da Desidratação Osmótica

Outro fator que influencia a DO é a temperatura do processo. Em geral, as taxas de transferência de massa são diretamente proporcionais à temperatura. Um aumento da temperatura provoca uma redução na viscosidade da solução, resistência externa à transferência de massa e mudança da permeabilidade da membrana celular durante a plasmólise, como por exemplo inchamento ou plasticização da membrana celular que depende da estrutura celular de cada fruto, favorecendo a impregnação de soluto e perda de água (AZOUBEL, 2004; ABUD-ARCHILA et al., 2008; CHENLO et al., 2006; HEREDIA; BARRERA; ANDRES, 2007; MAYOR et al., 2006; MERCALI et al., 2011; MONNERAT et al., 2010).

Entretanto, temperaturas mais elevadas causam o aumento da permeabilidade das células durante plasmólise, que provoca o encolhimento significativo do protoplasma, favorecendo a impregnação de soluto e perda de água (AZOUBEL; MURR, 2004; CHENLO et al., 2006; HEREDIA; BARRERA; ANDRES, 2007; MAYOR et al., 2006; MERCALI et al., 2011; MONNERAT et al., 2010).

Durante a desidratação osmótica, o processo de transferência de massa global depende da relação das resistências internas e externas, tais como determinados parâmetros: coeficiente de transferência de massa convectiva, coeficiente de difusão interna, espessura da amostra, e a relação de equilíbrio na interface (LENART; LEWICKI, 2006; RASTOGI et al., 2002).

A resistência interna, muito mais complexa, é influenciada pela estrutura do tecido celular, pela permeabilidade das membranas celulares, pela deformação dos pedaços de vegetais e/ou frutas e pela interação entre os diferentes fluxos mássicos internos (SALVATORI, 1999).

Quando a concentração da solução é mantida constante, há uma dependência da temperatura sobre os valores médios de difusividade efetiva que foi observado por Barat, Chiralt e Fito (2001) no gráfico de Arrhenius, para desidratação de fatias de maçãs. Os dados podem ser estimados para a difusividade efetiva e validados em relação ao efeito da temperatura sobre os seus valores.

Essa correlação pode ser desenvolvida por meio da representação da equação de Arrhenius para ajuste de cinéticas químicas, equação 1, obtendo a energia de ativação para a desidratação (JERÔNIMO, 2012).

$$D_{ef} = D_{\infty} \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

Onde:

D_{ef} : difusividade efetiva da umidade [L^2T^{-1}]

D_{∞} : constante exponencial [adimensional]

E_a : energia de ativação [$ML^2T^{-2}MOL$]

R : constante universal dos gases [$M^{-1}LT^2MOL^{-1}$]

T : temperatura [T]

Em DO, geralmente, se utilizam temperaturas na faixa de 25 a 60°C. No caso de tomates, por exemplo, a temperatura ótima é de 40°C, adequada para a maior biodisponibilidade de licopeno, que é um carotenóide muito importante, que confere o poder antioxidante (HEREDIA et al., 2010). Temperaturas acima de 40°C podem provocar a ruptura da integridade dos tecidos da planta e das membranas, podendo favorecer o ganho de soluto (DERMESONLOUOGLOU; GIANNAKOUROU; TAOUKIS, 2007), contestando assim o objetivo da DO, que visa minimizar o ganho de soluto (BORIN et al., 2008). Além disso, provoca alterações indesejáveis no sabor, cor e textura.

Elaouar et al. (2006) ao estudarem a desidratação osmótica de papaya verificaram que a temperatura foi o efeito mais importante no comportamento da solução com sacarose quanto ao ganho de sólidos.

As temperaturas do processo mais elevadas promovem a perda de água, de modo mais rápido reduzindo o tempo necessário para atingir as concentrações de equilíbrio (EREN; KAYMAKERTEKIN, 2007). O aumento da temperatura intensifica o efeito da sacarose na desidratação osmótica proporcionando melhores características de transferência de água sobre a superfície do produto, devido à menor viscosidade do meio osmótico (CHENLO et al., 2002).

Ito et al. (2007) verificaram que o aumento da temperatura, de 20 para 30 °C, causou o aumento tanto da perda de água quanto do ganho de sólidos. Essa grande influência na transferência de massa pode ser relacionada ao aumento da permeabilidade da membrana celular, causada pelas temperaturas mais elevadas e à redução da viscosidade da solução osmótica, que faz com que a resistência externa à transferência de massa seja menor, facilitando a transferência de solutos (LAZARIDES, 1996).

O efeito da concentração de sal em todas as temperaturas de processamento é maior do que o da sacarose. Isto pode ser explicado pelas características de ionização e de baixo peso molecular do sal o que facilita sua difusão no produto e efeito redutor da atividade da água do sal aumenta a força impulsionadora para a desidratação (EREN; KAYMAKERTEKIN, 2007).

Tonon, Baroni e Hubinger (2007) verificaram que a temperatura e a composição da solução osmótica apresentaram efeitos significativos em todas as respostas estudadas. O aumento da temperatura e concentração de cloreto de sódio levou ao aumento dos coeficientes de transferência de massa de solutos e água, ou seja, aumentos significativos de ganho e sólidos e perda de água. Comportamento também verificado por Lertworasirikul e Saetan (2010) ao

trabalharem com DO que perceberam também a redução do conteúdo de umidade e aumento da razão perda de água/ ganho de sólidos.

2.4.6 Forma de contato e tempo de duração do processo

A transferência de massa, perda de água e incorporação de solutos também vai depender da forma que o produto entrará em contato com a solução, se inteiro, cortado ou descascado, sendo que os dois últimos podem favorecer uma maior área de contato com a solução desidratante (MAVROUDIS; GEKAS; SJÖHOLM, 1998). Tonon, Baroni e Hubinger (2007) verificaram que ao trabalharem com metades de tomates, e a presença de pele na fruta, que é unicamente semi-permeável para água e sólidos, houve uma redução considerável da área de transferência de massa, perda de água e incorporação de solutos, aproximando mais rápido do equilíbrio do que as amostras mais espessas.

Na DO de jenipapo, Alvachian et al. (2003) verificaram que, paralelamente à satisfatória redução de umidade, 37% a 60%, ocorreu uma indesejável incorporação de sólidos solúveis, efeito considerado adverso, por modificar as características organolépticas próprias e aumentar o peso do fruto, cuja redução é considerada uma das vantagens deste processo. Analisando as causas deste problema, os pesquisadores acima citados constataram uma significativa influência da concentração do agente osmótico utilizado (sacarose comercial) possivelmente associado ao tamanho e à forma das partículas desidratadas.

O tempo de tratamento osmótico, nas primeiras duas horas de desidratação, é uma variável bastante importante durante a desidratação osmótica, especialmente no ganho de sólidos e a perda de umidade. A taxa de transferência de massa geralmente diminui com o aumento do tempo de imersão,

durante o processo osmótico, devido à diminuição no conteúdo de umidade e aumento no conteúdo de sólidos que acontecerem na direção do centro do alimento (DALBEN et al., 2012; RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004). Comportamento verificado por Antonio et al. (2008) na DO de batatas e Manivannan e Rajasimman (2011) na DO de beterrabas.

Ade-Omowaye et al. (2003) verificaram na DO de maçã que maiores alterações de peso e de teor de matéria seca ocorrem durante os primeiros 30 minutos de tratamento, enquanto que as mudanças nas propriedades macroscópicas, tais como a forma da célula, o tamanho das células, e da forma de mudança dos espaços intercelulares durante todo o tempo investigado.

Elaouar et al. (2006) verificaram a influência da sacarose e xarope de milho como agente osmótico na desidratação osmótica de papaya (*Carica papaya L.*), e que o tempo de imersão foi o efeito mais importante na atividade de água, seguido pela concentração e temperatura. Comportamento que está de acordo com Antonio et al. (2008) ao trabalharem com desidratação osmótica de batata-doce.

Lewicki e Porzecka-Pawlak (2005), no entanto, verificaram que a desidratação osmótica prolongada (3h) pode causar desprendimento de células e formação de novos pequenos espaços intercelulares dos tecidos de maçã.

As velocidades de perda de água e ganho de sólidos com o decorrer do tempo alcançam valores maiores no início, caindo depois da primeira hora do processo. Ainda pode verificar-se reversão do processo a tempos longos quando o tratamento resulta em danos à estrutura.

Mudanças no gradiente de concentração da solução são devidas às alterações na fruta com o tempo. Na primeira fase da DO (0 a 2 h), o ganho de solutos pelas amostras é comparável à perda de peso. Na segunda fase (2 a 5 h), a perda de peso se torna maior do que o ganho de solutos, chegando esta a cerca de 50%. Como a perda de peso é o equilíbrio entre a remoção de água e ganho

de solutos, pode-se concluir que, o ganho de solutos é compensado pela remoção de água que se torna maior nesta fase (GARCÍA et al., 2010).

Os produtos finais de uma DO geralmente contêm ainda muita umidade, devendo ser processados posteriormente, por exemplo, utilizando as operações de secagem. As frutas desidratadas parcialmente podem ser incluídas em alimentos como sorvetes, sobremesas, iogurtes, laticínios, cereais e produtos de confeitaria e produtos de panificação ou consumidos em ocasiões como lanche (MANDALA et al., 2005).

2.5 DO de Tomate

Embora o tomate se encontre entre os alimentos desidratados de maior consumo, a produção de tomate desidratado resulta em produtos de qualidade bastante pobre (HEREDIA; BARRERA; ANDRES, 2007). A produção brasileira de tomate seco é bastante artesanal e pertence a pequenos produtores (TONON; BARONI; HUBINGER, 2007). Este processo necessita de estudos criteriosos para uma produção industrial e melhoria de qualidade para pequenos produtores.

A desidratação osmótica como um processo de desidratação parcial envolve o contato direto dos tecidos vegetais com a solução hipertônica levando a remoção de água através de membranas semipermeáveis do alimento e transferência de soluto da solução osmótica para o alimento. Este processo é normalmente usado para remoção parcial de água dos tecidos vegetais para obter estabilidade sem tratamento de acidificação ou pasteurização (AL-MUHTASEB et al., 2010).

A desidratação osmótica é usada, não somente para reduzir o tempo de secagem do tomate em torno de 150% (600 para 240 min), como também melhorar a qualidade dos produtos (AL-MUHTASEB et al., 2010). Outras

vantagens incluem danos limitados pelo calor, melhoria na qualidade da textura, retenção de vitaminas, realce de sabor e estabilização da cor (ADE-OMOWAYE et al., 2003).

De acordo com Heredia, Barrera e Andres (2007), em processos comuns de desidratação de tomate, os maiores danos são colapso da estrutura, descoloração, amolecimento e perda de sabor e valor nutricional. Dentre os componentes do tomate, um dos mais importantes é o licopeno (SHI et al., 1999). A DO não somente afeta o teor de licopeno e coloração do produto final, como seu valor nutricional. Os processos de desidratação osmótica diminuem a ação do oxigênio levando a menor degradação de licopeno (CASTELLO et al., 2009; SHI et al., 1999).

Dentre as vantagens da DO, incluem-se: utilização de temperaturas moderadas do processo não afetando as características de semipermeabilidade das membranas celulares; temperaturas moderadas podem aumentar a retenção da cor natural sem a adição de sulfitos e compostos flavorizantes voláteis durante subsequente secagem e a DO pode reduzir o requerimento de energia global para mais processos de secagem do produto como secagem convencional (ar quente) e liofilização (LAZARIDES; KATSANIDIS; NICKOLAIDIS, 1995; LENART; LEWICKI, 2006). A umidade é eficientemente removida do alimento sem mudança de fases da água (UDDIN; AINSWORTH; İBANOĞLU, 2004).

Alguns autores têm utilizado a desidratação osmótica para tomates, cujas variáveis e descrições são apresentadas no Quadro 1.

Concentração NaCl [%]	Concentração Sacarose	Temperatura [°C]	Tempo imersão [min]	Referências
50	50%	29 e 31	10, 20, 30, 40, 50 e 60	Li et al. (2012)
0 e 10%	(55; 27,5) °Brix	30 e 40	60 e 120	Heredia et al. (2012)
-	(50; 70) %	50°C	180	Kejing et al. (2012)
0;5;10	(27,5;42,1;55)°Brix	30,40	60 a 120	Heredia et al. (2010)
5,10,15	(0,30,40)%	30	15 a 240	Askari, Emam-Djomeh e Tahmasbi (2009)
-	(50,60,70)°Brix	35,45,55	20 a 320	Bui, Makhoulouf e Ratti (2009)
0 ;10,20	(0 ;27,5;55)°Brix	30,40,50	0 a 1440	Heredia et al. (2009)
10	35%	30	60	Marfil, Santos e Telis (2008)
10,20	27,5%+2%Lact.cálcio	30	240	Heredia, Barrera e Andres (2007)
0,10	(55,65)%	25	30 a 520	Tonon, Baroni e Hubinger (2007)
15,30	(45;60)%	60	1 a 100	Tsamo et al. (2005)
5,10	(30;40)%	30	0 a 240	Telis, Murari e Yamashita (2004)
10,25	(10;25)%	25	30 a 360	Azoubel e Murr (2004)
-	61,5%+2%CaCl ₂	20,30	180, 1440	Lewicki (2002)
-	65°Brix	25	360	Shi et al. (1999)

Quadro 1 Variáveis de processo de D.O. de tomate

Os autores citados no quadro 1 verificaram que a temperatura, concentração dos agentes osmóticos utilizados e velocidade de agitação influenciam na taxa de secagem, perda de água, ganho de sólidos solúveis, teor de licopeno e coordenadas de cor.

Li et al. (2012) avaliaram a transferência de massa da desidratação osmótica de tomates cereja em soluções de sacarose e sal com uso de ultrassom e verificaram que a concentração de sal também influenciou o ganho de sólidos, por outro lado não foi influenciado pelo ganho de sacarose que está relacionado com o encolhimento da amostra. Eles verificaram também que a taxa de transferência em solução ternária foi maior do que em solução binária, porque o conteúdo de sal produz uma pressão osmótica extra, que pode acelerar o movimento do soluto.

Heredia et al. (2012) estudaram a influência da desidratação osmótica e energia de microondas no perfil aromático de tomate cereja desidratado e verificaram uma redução no conteúdo de umidade e um aumento de sólidos solúveis, NaCl e/ou sacarose, nas amostras depois do tratamento osmótico, resultando na redução da atividade de água.

Kejing et al. (2012) investigaram o efeito da desidratação osmótica com pulso de vácuo na cinética de secagem e atributos de qualidade de tomates cereja e verificaram que tanto a DO quanto a PVOD apresentaram vantagens na redução do ciclo de secagem e melhoraram a qualidade dos produtos. Comportamento também verificado por Al-harabsheh, Al-muhtaseb e Magee (2009), Askari et al. (2009), Bui et al. (2009) e Tsamo et al. (2005) para a DO de tomates. A maior perda de água foi observada para a amostra desidratada na solução de 70°Brix em comparação com a de 50°Brix e que a PVOD provocou significativamente uma perda de água um pouco maior de tomates em soluções osmóticas de 50°Brix quando comparada com a DO. O pulso de vácuo tem um efeito maior no aumento do ganho de sólidos em tomates cereja, pois muda a

estrutura alterando a transferência de massa das propriedades dos tecidos dos frutos, já que ocorre uma troca gás-líquido nos poros. A perda de água é promovida pelo gradiente de pressão entre o alimento e a solução osmótica. Enquanto o ganho de sólidos é mais dependente da microestrutura dos tecidos e ambos são limitados pela viscosidade da solução e porosidade da amostra. O escurecimento da amostra está relacionado com a diminuição de L^* , resultante do escurecimento enzimático e não enzimático. O pulso de vácuo ajuda na redução do escurecimento aumenta L^* e reduz a^* e b^* .

Heredia et al. (2010) avaliaram o efeito de variáveis do processo (desidratação osmótica, secagem convectiva e secagem assistida por microondas) na degradação e isomerização de licopeno, assim como nas propriedades ópticas. Os resultados obtidos apresentaram que o pré-tratamento osmótico limitou a isomerização durante os estágios posteriores de secagem, considerando tanto a perda de licopeno total, quanto à isomerização cis-trans. Esta correlação foi refletida na cor das amostras com predominância de mais tons laranja do que avermelhados. Eles verificaram também que as amostras tratadas com solução ternária (10% de NaCl, 27,5% de sacarose em 40°C) apresentaram conteúdo de licopeno maior do que o tomate fresco. Os tomates frescos apresentaram parâmetros de cor L^* (30), a^* (17), b^* (22), C (28) e H (50).

Os valores de hue depois do tratamento em todos os casos foram significativamente altos, que implica um aumento maior na coordenada b^* do que na coordenada a^* . Um aumento na coordenada b^* , está relacionado com o aumento de tons laranja, podendo ser devido uma maior formação do isômero *cis*. Porém a relação dos dados da cor com o conteúdo de licopeno não foram conclusivos.

Bui, Makhlof e Ratti (2009) observaram a influência do aumento da temperatura e concentração na redução de peso e de água e aumento do teor de sólidos solúveis. A maior redução de peso, 73%, e o menor teor de água, 39%,

foram encontradas para a solução de maior concentração, 70° Brix, nas temperaturas de 45 ou 55°C, e para o maior tempo de tratamento, 320 min. Eles observaram o efeito significativo da concentração e temperatura, porém não significativo para a interação.

Heredia et al. (2009) verificaram que mudanças nas coordenadas de cor ocorreram mais intensamente no início do processo (150min), quando a cinética de perda de água e ganho de solutos foi relatado para ser mais rápido. Houve uma redução no valor de L^* , que foi atribuída ao aumento na opacidade das amostras resultantes do encolhimento de sua estrutura devido à perda de água e o ganho de solutos durante a D.O.

Heredia, Barrerás e Adréas (2007) verificaram que a remoção de água na DO de tomates foi ligeiramente melhorada pela adição de 2% de lactato de cálcio na solução osmótica.

Tonon et al. (2007) verificaram que o tamanho do tomate e a presença de casca, reduziram consideravelmente a transferência de massa, por ser uma membrana semipermeável o alcance do equilíbrio atrasado reduzindo também a velocidade de perda de água e incorporação de solutos. A temperatura foi o fator que mais influenciou nos coeficientes de transferência de massa e água. Altas temperaturas promovem o inchaço e plasticização da membrana celular, favorecendo a transferência de massa, redução na viscosidade da solução e resistência externa de transferência de massa facilitando o transporte de água e de solutos (LAZARIDES et al., 1995).

2.6 Usos do pulso de vácuo na desidratação osmótica (PVOD)

O uso do pulso de vácuo na DO é uma tecnologia que pode ser aplicada para o processamento de alimentos como descrito no quadro 2 que consiste na troca de gases oclusos dos poros da matriz de alimentos por soluções de

tratamento, acelerando assim a transferência de massa e levando à maior absorção de solutos. Essa imersão na solução produz a lixiviação de solutos (açúcares, fenóis, ácidos orgânicos, etc) a qual objetiva a melhoria na qualidade dos alimentos, maximizando o rendimento, eficiência e economia de tempo, sendo utilizada como alternativa à DO sob pressão atmosférica (BLANDA et al., 2007; GUILLEMIN et al., 2008; LOMBARD et al., 2008).

A desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) implica uma redução na pressão do sistema no início do processo (FITO, 1994). Em contraste com a pressão normal de processos de desidratação osmótica (DO), a PVOD supõe o pulso de vácuo (PV) no processamento, dando origem à ação do mecanismo hidrodinâmico acoplado. Na figura 4 é possível verificar uma esquematização deste processo na célula.

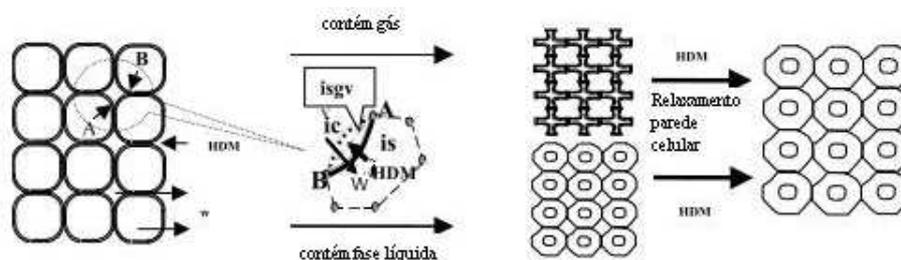


Figura 4 Mudanças na estrutura de todo tecido celular nos tratamentos DO e PVOD

Fonte: (FITO et al., 2001).

Nota: (HDM:mecanismo hidrodinâmico, w:espaço intercelular, ic: conteúdo intracelular, isgv: volume gerado espaço intercelular, A e B: ligação celular)

Dois processos ocorrem, como o mecanismo hidrodinâmico (HDM) e os fenômenos de deformação e de relaxamento (FDR). No primeiro processo, a solução é transportada do interior dos poros por capilaridade (espaços intercelulares) promovidos por mudanças de pressão. No segundo processo há a expulsão do gás durante a etapa de vácuo, neste último, a pressão atmosférica é

restaurada e a compressão leva a uma grande redução no volume do gás remanescente nos poros da estrutura porosa de enchimento com um líquido (FITO et al., 2001).

O efeito pulso de vácuo na perda de água pode ser explicado pelo mecanismo hidrodinâmico observado no início do processo osmótico. Com a aplicação de condições de vácuo, o gás ocluído nos espaços intercelulares dos tecidos vegetais é removido e, quando a condição de pressão atmosférica é restaurada, os poros do material de alimentação são preenchidos com a solução osmótica (FITO, 1994). Este mecanismo favorece o aumento da área de contacto entre a fruta e a solução, reduz a atividade de água, e, conseqüentemente, favorece a transferência de massa (DENG; ZHAO, 2008).

Efetivamente, o uso do pulso de vácuo em matrizes de alimentos, é afetado por vários fatores como: os concernidos à microestrutura dos alimentos (porosidade, tamanho do poro e forma), tipo de fluido, gás ou líquido que ocupa os poros, propriedades de escoamento do fluido externo e variáveis de operações (razão da compressão aplicada, comprimento do período de vácuo e temperatura). O último fator, afeta as propriedades mecânico-estruturais da matriz porosa e propriedades de escoamento do fluido externo, assim como as propriedades de transporte do produto devido a gradientes de concentração (CORRÊA et al., 2010).

Na utilização da PVOD, inicialmente poderá ocorrer um ganho rápido de água e soluto, resultando num aumento súbito da massa total inicial. E, após certo período, esse ganho de água e perda de soluto poderá se tornar mais lento, praticamente constante, além de alcançar a estabilidade no que se diz à retração, ou seja, o encolhimento de uma amostra em relação ao seu volume inicial, resultante da deformação da matriz sólida devido ao gradiente de pressão imposto pelo sistema (ATARES; CHIRALT; GONZALEZ-MARTINEZ, 2008).

De acordo com Mújica-Paz et al. (2003) a aplicação de pressão de vácuo elevada e / ou o tempo de vácuo longo pode causar deformação irreversível da estrutura porosa, levando a uma redução no volume livre disponível para impregnação.

A quantidade de solução impregnada no final do processo de PVOD depende de muitos fatores, mas é maior em matrizes de alimentos com maior porosidade (BLANDA et al., 2007). A possibilidade de introduzir uma solução externa com solutos específicos e / ou de produtos selecionados para poros. A PVOD torna uma ferramenta viável para o processamento de frutas altamente porosa e produtos hortícolas (ZHAO; XIE, 2004).

O uso de pulso de vácuo, embora seja uma técnica nova em relação a muitas outras tem sido bastante utilizada para a desidratação osmótica de frutas e vegetais, porém ainda não têm estudos realizados para tomates. Diversos autores tem estudado a influência da impregnação a vácuo na DO, como descrito no Quadro 2.

Material	Conc. Solução	Temperatura [°C]	Pulso vácuo	Referências
Pêras	65°Brix	(30,40,50)	50mbar/5min	Moreno et al. (2011)
Melão	(40,50 e 60)°Brix	30	100mbar/(5:10:15)min	Ferrari et al. (2011)
Goiaba	(40,50 e 60)°Brix	40	100mbar/(10:15)min	Corrêa et al. (2010)
Pimentão	Ácido orgânico+ác.lático	-	(200;400)mbar/(2 e 5)min	Derossi, Depilli e Severini (2010)
Grapefruit	55°Brix+lac.cálcio (0,2)%	30	50mbar/10min e 10 atm	Moraga et al. (2009)
Agrião	Água ultrapura	20	(51,58,68,85,101)kPa/5min	Cruz, Vieira e Silva (2009)
Maçã	30% Glicose+ 41% Sacarose+ 40% Trealose	30	50mbar/5min	Atares, Chiralt e Gonzalez-Martinez (2008)
Nectarina	(0,5,10,15)NaCl(20,30,40,50)S	25	100mbar/30min	Blanda et al. (2007)
Maçã	60% frutose+xar.milho	25	13MPa/5min alterna 5 a 5	Deng e Zhao (2008a)
Sardinha	(0,15;0,18; 0,21;0,24;0,27)NaCl/g	30,32,34,36,38	11kPa/10min	Corzo e Bracho (2007)
Beterraba,cenoura, abobrinha,cogumelo	Sol. Isotônica sacarose	25	50mbar/(5,10,15)min	Gras et al. (2002)
Maçã	Sacarose.(0,25;0,35;0,45;0,55;0,65)	30,40,50	180mbar/5min	Barat, Chiralt e Fito (2001)

Quadro 2 Variáveis utilizadas na desidratação osmótica com pulso de vácuo

O pulso de vácuo na desidratação osmótica influencia na concentração de soluções, ganho de solutos, tempo de pulso de vácuo e no escurecimento dos tecidos vegetais. Segundo Corrêa et al. (2010) e Ferrari et al. (2011), o pulso de vácuo é mais eficaz em frutos tratados com altas concentrações de solução osmótica e a impregnação é dependente das características biológicas de cada fruto.

Atares, Chiralt e Gonzalez-Martinez (2008) verificaram que com o uso do pulso de vácuo houve o ganho superável de soluto no início do tratamento afetando o processamento osmótico. O pulso de vácuo alto pode deformar a estrutura dos tecidos permitindo a penetração da solução osmótica e caso a solução apresente alta viscosidade, a solução não vai fluir do fruto durante o período de relaxação, resultando assim no ganho de sólidos (MÚJICA-PAZ; VALDEZ-FRAGOSO; LÓPES-MALO, 2003). Além disso, o uso de soluções menos concentradas acoplados à ação de pulso de vácuo, favorece absorção de sólidos (FERRARI et al., 2011).

Torres et al. (2007) relatam que soluções menos concentradas que apresentam baixa viscosidade quando combinadas com aplicação do uso do pulso de vácuo no início do processo favorece o ganho de solução hidrodinâmica nos poros dos tecidos, promovendo uma efetiva impregnação da amostra com baixa perda de massa e água.

Vieira, Pereira e Hubinger (2012) verificaram que a aplicação de pulsos de vácuo no processo osmótico de goiabas influenciou positivamente na perda de água, indicando que um aumento desta variável poderia melhorar o aumento de perda de água. Comportamentos semelhantes também foram relatados por Panadés et al. (2006) e Corrêa et al. (2010) em seus trabalhos com goiabas. Os longos períodos de aplicação de pulso de vácuo (15-20 min) levaram a um aumento na perda de água quando associada à alta temperatura do processo. Martínez-Valencia et al. (2011) ao trabalharem com cinética de PVOD de

melão, verificaram que o pulso de vácuo de 10 minutos no início do processo, afetou significativamente na perda de água, ganho de sólidos e cor depois dos 360 minutos de desidratação.

Por outro lado, Ito et al. (2007) relataram que o uso de tempo de pulso de vácuo variando de 0 a 20 min não influenciou na perda de água de fatias de manga. Estes comportamentos distintos observados em goiaba e fatias de manga podem ser explicados por diferenças nas características estruturais das frutas estudadas, como o efeito de vácuo depende da porosidade do fruto específico.

Castello, Fito e Chiralt (2006) e Chafer et al. (2003) verificaram que a aplicação de pulso de vácuo parece preservar amostras de escurecimento, provavelmente devido à limitação no acesso de oxigênio pela solução osmótica para a parte interna do tecido através dos espaços intercelulares. Esse comportamento também foi verificado por Ferrari et al. (2011) que acrescenta que quando se trabalha com altas concentrações de soluções osmóticas (60°Brix), por exemplo, e/ ou temperatura, haverá a promoção de um afastamento parcial da solução osmótica com liberação do gás interno resultando no encolhimento dos poros e redução do volume livre disponível para a impregnação. Redução no escurecimento pode ser confirmada com altos valores da coordenada de cor L^* e preservação da cor, retratada pelos parâmetros de cor Hue e crome (CHAFFER et al., 2003; DENG; ZHAO, 2008). Outro efeito pode ser a lixiviação dos componentes das células do corte externo, em que as enzimas e os substratos estariam em contato (CHAFFER et al., 2003).

A transparência e a cor do fruto podem mudar consideravelmente durante o processo osmótico devido a degradação ou a perda de pigmentos das frutas e do desenvolvimento de escurecimento durante o processo; a perda de água que implica não só num aumento da concentração do pigmento eficaz, o que pode aumentar a absorção de luz seletiva, como também um aumento do índice de refração da fase líquida que promove a reflexão de tecido de

superfície, estes dois efeitos simultâneos podem levar a efeitos divergentes em atributos de cor (em particular clareza e crómio), dependendo do produto; a troca de fase de gás para líquido externo, perto da superfície da amostra, devido à ação do HDM. Esta troca induz índices de refração mais homogêneos no tecido, que promovem a absorção de luz contra a dispersão, o produto assim ganhando a transparência. A troca de gás-líquido é praticamente completa no processo PVOD o que implica que as amostras processadas PVOD tornem-se muito translúcidas afetando sua cor e aparência (DENG; ZHAO, 2008; TALENS et al., 2002).

Martínez-Valencia et al. (2011) ao trabalharem com cinética de PVOD de melão, verificaram que o pulso de vácuo de 10 minutos no início do processo, afetou significativamente na perda de água, ganho de sólidos e cor depois dos 360 minutos de desidratação. O pulso de vácuo induz uma deformação da estrutura dos tecidos facilitando o aumento da área de contato para a transferência de massa (MÚJICA-PAZ et al., 2003).

Mújica-Paz et al. (2003) estudaram o efeito da pressão de vácuo e concentração de xarope da impregnação e desidratação de alguns frutos (melão, maçã e manga). Eles observaram que a PVOD é mais vantajosa do que a DO para frutos com maior atividade de água e porosidade. A perda de água aumentou com o aumento da concentração da solução osmótica, assim como ocorre na DO. Entretanto, a maçã apresentou efeitos positivos e negativos para a perda de água. O valor negativo (50°Brix) indicativo de que o ganho de sólido foi causado pela impregnação da solução osmótica nos tecidos. E o valor positivo (55-60°Brix) na perda de água devido o fenômeno da desidratação prevalecer sobre essas condições.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Os tomates (*Solanum Lycopersicum*, Solanaceae), cultivar Carmen, foram adquiridos no comércio local de Lavras, MG. Para que os tomates fossem considerados homogêneos, os frutos foram escolhidos visualmente quanto ao tamanho, peso, cor e firmeza uniformes. O cultivar Carmen foi escolhido por apresentar características que se prestam ao processamento industrial visando a produção de derivados de tomate em função do teor de sólidos solúveis, pH e cor.

3.2 Preparo da matéria-prima

Os tomates, previamente selecionados, foram lavados em água corrente. A lavagem foi feita com solução de hipoclorito de sódio à 200ppm/15min, seguida de enxague com água corrente. Foram imersos em solução de NaOH na concentração de 5% por 15 minutos com o objetivo de formar fissuras na casca facilitando o processo de transferência de massa, adaptado (SHI et al., 1997). As sementes dos frutos foram removidas. Foram obtidas amostras de tomate com o auxílio de um molde de aço inox em formato de uma placa 4cm x 2cm plana (com a espessura determinada pela fatia do fruto). O formato de placa plana das amostras foi escolhido por facilidade de obtenção de modelos cinéticos baseados nesta geometria (Figura 5).



Figura 5 Tomate em fatias

3.3 Caracterização do material

A caracterização do material *in natura* foi feita com relação a:

- Composição centesimal: fibra bruta - digestão do material em solução de H_2SO_4 a 1,25% p/v por 30 minutos, seguida de NaOH 1,25% m/v por mais 30 minutos (AOAC, 1995); cinzas - carbonizadas até cessar a liberação de fumaça e, posteriormente, calcinadas em mufla a 550 °C até peso constante (AOAC, 1995); proteínas - foi determinada pelo método micro-Kjeldahl (AOAC, 1995); extrato etéreo extração das farinhas com éter etílico usando aparelho de Soxhlet (AOAC, 1995).

Foram analisadas tanto nas amostras *in natura* quanto nas tratadas, análise com relação a:

- a) Teor de umidade: determinado por secagem em estufa a vácuo a 70°C por 48 horas de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (1995);
- b) Atividade de água: a determinação da atividade de água ocorreu à temperatura de 25°C com o uso do equipamento Aqualab, modelo CX-2T (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA);

- c) Teor de NaCl: o teor de NaCl foi determinado pelo método de Mohr que consiste em titulação com nitrato de prata (Ranganna, 1977), utilizando-se cromato de potássio como indicador, o conteúdo de sal foi calculado pela equação 2:

$$\text{NaCl}(\%) = \frac{(V_t - V_{bt}) * N * V * 58,45 \times 100}{V_a * m * 1000} \quad (2)$$

em que V_t – volume gasto na titulação da amostra [mL]; V_{bt} – volume gasto na titulação do branco [mL]; N – normalidade do álcali [gmL^{-1}]; V – volume aferido [mL]; V_a – volume da alíquota [mL] em – massa da amostra [mL] .

- d) Análise da Cor: os parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , C , Hue, ΔE) foram mensurados com colorímetro eletrônico Minolta CR 400 (Minolta Câmera Co. Ltd, Osaka, Japan) a 25°C , de acordo com os padrões L^* (clareza), a^* (intensidade de vermelho) e b^* (intensidade do amarelo). O ângulo Hue, h_{ab} (tonalidade), o Chroma (saturação), C_{ab} e a diferença total de cor, ΔE , foram obtidos pelas equações (3), (4) e (5) respectivamente.

$$h_{ab} = \arctan b^*/a^* \quad (3)$$

$$C_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (4)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (5)$$

Onde o subíndice 0 corresponde a valores da amostra in natura.

- e) Teor de licopeno e β -caroteno: o teor de licopeno foi determinado utilizando a metodologia sugerida por Nagata e Yamashita (1992). Amostras de 1g foram colocadas em tubos de ensaio e trituradas por um minuto em homogeneizador com 10 ml de mistura acetona-hexano (4:6). O extrato sobrenadante foi usado para leitura da absorbância em espectrofotômetro, em quatro comprimentos de onda: 453, 505, 645 e 663 nm. Os cálculos das concentrações de licopeno e β -caroteno foram feitos segundo as seguintes equações 6 e 7:

$$\text{Licopeno (mg/100ml)} = -0,0458A_{663} + 0,204A_{645} + 0,372A_{505} - 0,0806A_{453} \quad (6)$$

$$\beta_{\text{caroteno}} \text{ (mg / 100 mL)} = 0,216A_{663} - 1,22A_{645} - 0,304A_{505} + 0,452A_{453} \quad (7)$$

- f) Encolhimento: Utilizou-se uma proveta com capacidade de 100 mL. O encolhimento foi determinado com base na equação 8 em intervalos de tempo do experimento, de acordo com o método de deslocamento de líquido com uso de tolueno (MOHSENIN, 1986).

$$E(\%) = \left(1 - \frac{V_t}{V_0}\right) * 100 \quad (8)$$

As determinações foram feitas em triplicata, exceto para a análise dos parâmetros de cor que foi realizada em 9 replicatas. Os resultados foram reportados como média.

3.4 Sistema experimental

O processo de desidratação osmótica foi conduzido em um equipamento projetado para trabalhar à pressão atmosférica e também a vácuo. O desidratador (Figura 6) é composto por uma câmara encamisada de aço inox (A-240-304) com volume útil de 50 litros, volume mínimo de operação de 10 litros e acesso pela parte superior (Biasinox LTDA). O controle da temperatura de trabalho foi feito por um banho termostaticado acoplado à camisa da câmara, permitindo faixa de temperatura de trabalho de 5 a 70°C. Uma bomba de vácuo acoplada ao sistema permitiu a formação do vácuo em diferentes valores de pressão reduzida (até 250 mbar). O equipamento permitiu a aquisição de dados de temperatura da solução osmótica, pressão de vácuo e agitação da solução osmótica. A agitação, promovida por uma hélice de 4 pás, foi fixada em uma velocidade da pá do agitador de 20 rpm.

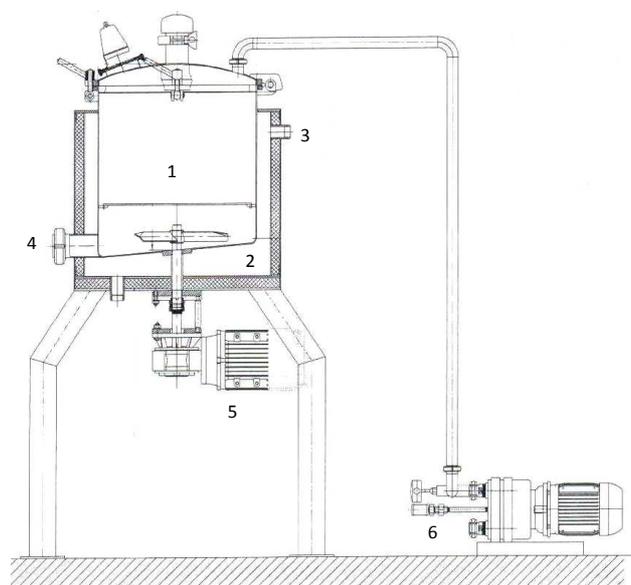


Figura 6 Detalhamento do sistema experimental

Legenda:

1 - interior do desidratador osmótico; 2 - interior da camisa do equipamento; 3 - comunicação da camisa do desidratador com o banho termostático; 4 - saída para retirada da solução osmótica; 5 - motor acoplado à hélice de pás no interior do desidratador para promover agitação; 6 - bomba de vácuo.

3.4.1 Preparo da solução osmótica

As soluções desidratantes de cloreto de sódio e sacarose comerciais utilizadas no processo osmótico foram preparadas com água filtrada, variando-se as concentrações de acordo com as condições estabelecidas em cada ensaio realizado com água filtrada.

3.4.2 Processamento osmótico

Os processos osmóticos de desidratação de fatias de tomate foram realizados com a prévia colocação da solução osmótica no equipamento e homogeneização da temperatura para as condições preestabelecidas pelo planejamento experimental.

Devido ao volume de trabalho do equipamento, a proporção média de fruta: solução foi de aproximadamente (1:59) em todos os experimentos. Isto permitiu garantir que não houvesse diluição da solução devido à desidratação do alimento.

As amostras foram acondicionadas em uma única camada em pequenos estojos de aço inox perfuradas e com tampa. Os estojos, projetados para que se tivessem condições de identificar as amostras, foram imersos no desidratador osmótico. A quantidade de amostras foi de cinco para determinação de cor e três para os demais testes.

No processo de PVOD, após os estojos com as amostras serem acondicionados no desidratador, o vácuo foi aplicado pelo acionamento da bomba de vácuo. Depois de decorrido o tempo de aplicação do pulso de vácuo, o desidratador foi aberto e o processo prosseguiu à pressão atmosférica.

Após o processo osmótico, as amostras foram imediatamente imersas em um banho de gelo e água mineral, para cessar a desidratação e retirar o excesso de solução desidratante e, então enxaguada. A água de lavagem superficial foi removida por secagem da mesma superfície com papel toalha absorvente. As amostras foram pesadas e submetidas à realização das análises posteriores. As análises foram realizadas em até 24h após o processo.

Em estudos de cinética, vários estojos perfurados contendo amostras foram utilizados para que se retirasse do equipamento amostras em tempos pré-determinados.

As amostras foram analisadas em termos de perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e redução de peso (RP), de acordo com as equações (9); (10) e (11), respectivamente.

$$PA(\%) = \frac{x_0^w M_0^o - x_f^w M_f^o}{M_0^o} 100 \quad (9)$$

$$GS(\%) = \frac{x_f^{ST} M_f^o - x_0^{ST} M_0^o}{M_0^o} 100 \quad (10)$$

$$RP(\%) = \frac{M_0^o - M_f^o}{M_0^o} 100 \quad (11)$$

onde M_0^o = massa inicial da amostra (kg), M_f^o = massa final da amostra (kg), x_0^w = teor de água inicial (%), x_f^w = teor de água final (%), x_0^{ST} = quantidade de sólidos inicial (%), e x_f^{ST} = quantidade de sólidos final (%).

3.5 Planejamento experimental da desidratação osmótica a vácuo (PVOD)

O número de planejamentos experimentais fatoriais necessários foi baseado no número de variáveis independentes estudadas. Quando se utiliza mais de 4 fatores é recomendável que se faça inicialmente um planejamento fatorial fracionado, como uma investigação inicial em relação aos efeitos das variáveis estudadas sobre as respostas desejadas (RODRIGUES; IEMMA, 2005).

Para se obter a otimização foi realizado um planejamento (DCCR) com 4 variáveis, e a escolha das variáveis foi baseada no resultado do delineamento

do tipo Plackett Burman (PB), avaliando inicialmente 5 variáveis. As variáveis foram exploradas com ao menos 3 repetições no ponto central, resultando num delineamento de PB com 12 ensaios e 3 pontos centrais (Tabela 1). E esse fatorial além de permitir a indicação de quais variáveis foram utilizadas no DCCR, também permitiu a adoção de novas faixas que foram estudadas para cada variável.

O PB com 12 ensaios, não é completamente saturado, pois não mistura efeitos principais com 1ª ordem, o que garante a confiança nos cálculos dos efeitos das variáveis nas respostas analisadas, sem perda na qualidade estatísticas das informações (RODRIGUES; IEMMA, 2005).

O tempo total de desidratação osmótica foi de 300 minutos, constante em todos os experimentos. Este tempo foi estabelecido com base em um experimento anterior.

Tabela 1 Matriz do planejamento PB para 15 ensaios

	Temperatura [°C]	Pressão do pulso de vácuo [mbar]	Tempo do vácuo [min]	Concentração de cloreto de sódio [%]	Concentração de sacarose [%]
1	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	-1 (0)	1 (15)
2	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	1 (15)
3	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)
4	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	1 (15)
5	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)
6	1 (45)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)
7	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	1 (15)	1 (15)
8	-1 (25)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	1 (35)
9	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)
10	1 (45)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)
11	-1 (25)	1 (150)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)
12	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	1 (15)
13	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)
14	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)
15	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)

3.6 Determinação da relação entre as principais variáveis e seus melhores níveis

Os experimentos subseqüentes ao planejamento PB foram feitos utilizando as variáveis estatisticamente mais significativas obtidas. Estes experimentos foram realizados com base em um planejamento composto central rotacional (DCCR).

3.7 Determinação dos melhores níveis das variáveis operacionais do processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomates

A partir dos fatores selecionados por meio do planejamento Plackett Burman, utilizou-se a técnica de superfície de resposta através da realização de um planejamento fatorial composto central, com o objetivo de determinar os níveis das variáveis operacionais que resultaram nas melhores condições da desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomate. Neste tipo de planejamento o número de níveis aumenta de 3 para 5, em relação ao planejamento PB, possibilitando assim verificar efeitos de segunda ordem na resposta, além de aumentar a faixa de estudo das variáveis e permitir verificar efeitos de interações entre os fatores.

Nos experimentos subsequentes, as variáveis selecionadas foram as de maior significância para a realização de um planejamento fatorial completo 2^4 , mais 8 pontos axiais e três pontos centrais, ou seja, planejamento estrela ou composto central. As demais variáveis foram fixadas conforme a representação dos efeitos na resposta da desidratação osmótica de tomates em fatias.

A Tabela 2 mostra a matriz dos níveis do planejamento fatorial composto central na forma codificada e em valores reais.

Tabela 2 Matriz do planejamento fatorial composto central para 28 ensaios

Ensaio	Temperatura [°C]	Pressão do pulso de vácuo [mbar]	Concentração de cloreto de sódio [%]	Concentração de sacarose [%]
1	-1 (30)	-1 (56,25)	-1 (2,5)	-1 (17,5)
2	+1 (40)	-1 (56,25)	-1 (2,5)	-1 (17,5)
3	-1 (30)	+1 (112,5)	-1 (2,5)	-1 (17,5)
4	+1 (40)	+1 (112,5)	-1 (2,5)	-1 (17,5)
5	-1 (30)	-1 (56,25)	+1 (7,5)	-1 (17,5)
6	+1 (40)	-1 (56,25)	+1 (7,5)	-1 (17,5)
7	-1 (30)	+1 (112,5)	+1 (7,5)	-1 (17,5)
8	+1 (40)	+1 (112,5)	+1 (7,5)	-1 (17,5)
9	-1 (30)	-1 (56,25)	-1 (2,5)	+1 (32,5)
10	+1 (40)	-1 (56,25)	-1 (2,5)	+1 (32,5)
11	-1 (30)	+1 (112,5)	-1 (2,5)	+1 (32,5)
12	+1 (40)	+1 (112,5)	-1 (2,5)	+1 (32,5)
13	-1 (30)	-1 (56,25)	+1 (7,5)	+1 (32,5)
14	+1 (40)	-1 (56,25)	+1 (7,5)	+1 (32,5)
15	-1 (30)	+1 (112,5)	+1 (7,5)	+1 (32,5)
16	+1 (40)	+1 (112,5)	+1 (7,5)	+1 (32,5)
17	-2 (25)	0 (75)	0 (5)	0 (25)
18	+2 (45)	0 (75)	0 (5)	0 (25)
19	0 (35)	-2 (37,5)	0 (5)	0 (25)
20	0 (35)	+2 (150)	0 (5)	0 (25)
21	0 (35)	0 (75)	-2 (0)	0 (25)
22	0 (35)	0 (75)	+2 (15)	0 (25)
23	0 (35)	0 (75)	0 (5)	-2 (10)
24	0 (35)	0 (75)	0 (5)	+2 (40)
25	0 (35)	0 (75)	0 (5)	0 (25)
26	0 (35)	0 (75)	0 (5)	0 (25)
27	0 (35)	0 (75)	0 (5)	0 (25)
28	0 (35)	0 (75)	0 (5)	0 (25)

Os resultados foram analisados através da metodologia de superfície de resposta. As variáveis independentes foram as seguintes: Temperatura (25, 30, 35, 40 e 45°C), pressão do pulso de vácuo (37,5; 56,25; 75; 112,5 e 150 mbar), concentração de cloreto de sódio (0; 2,5; 5; 7,5 e 15 %), concentração de sacarose (10; 17,5; 25; 32,5 e 40%). As respostas avaliadas foram: Perda de água (PA%), ganho de sólidos (GS), redução de peso (RP), atividade de água (a_w), teor de umidade (U_{bu}), teor de cloreto, teor de licopeno e teor de β -caroteno, além de parâmetros de cor (L^* , a^* , b^* , Cromo, Hue e diferença total de cor).

3.8 Otimização dos resultados das variáveis obtidas no Planejamento

Composto Central Rotacional

A otimização foi realizada após analisados os resultados avaliando os melhores valores obtidos em relação ao coeficiente de determinação e valor de F calculado para os parâmetros de transferência de massa, teor de umidade, atividade de água, parâmetros de cor obtidos com o Planejamento Composto Central Rotacional. Da condição obtida na otimização foi realizada a cinética de desidratação osmótica com pulso de vácuo.

3.9 Modelo de difusão unidirecional

O modelo utilizado geralmente para descrever processos de desidratação osmótica é baseado na equação unidirecional de Fick (CRANK, 1975):

$$\frac{\partial MC(t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{\text{eff}} \frac{\partial MC(t)}{\partial z} \right) \quad (12)$$

onde $\overline{MC(t)}$ é a quantidade de água ou de sólidos no instante t , D_{eff} é a difusividade efetiva e z é uma coordenada genérica.

Considerando-se uma placa de espessura $2L$ com condição inicial a quantidade de água e/ou sólidos inicial uniforme, $MC_{(z,0)} = MC_0$ e as condições de contorno simetria de concentração, $\left. \frac{\partial MC(t)}{\partial z} \right|_{z=0} = 0$ e quantidade de equilíbrio na superfície $MC_{(L,t)} = MC_{\text{eq}}$, a equação unidirecional de Fick torna-se:

$$W_{\text{w ou s}} = \left(\frac{8}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(- (2i+1)^2 \pi^2 D_{\text{eff, w or s}} \frac{t}{4L^2}\right) \right) \quad (13)$$

onde $D_{\text{eff, w or s}}$ é a difusividade efetiva da água ou sólidos, i é o número de termos da série, L é o comprimento característico (meia espessura da amostra), e $W_{\text{w or s}}$ é a quantidade adimensional de água ou sólidos, dada pela equação (14):

$$W_{\text{w ou s}} = \frac{\overline{MC(t)} - MC_{\text{eq}}}{MC_0 - MC_{\text{eq}}} \quad (14)$$

onde, MC_{eq} é a quantidade de água ou sólidos no equilíbrio e de acordo com a equação de Peleg (PELEG, 1988),

$$MC_t = MC_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \quad (15)$$

Com a aproximação de equilíbrio assintoticamente (PALOU *et al.*, 1993):

$$MC_{eq} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left(MC_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \right) = MC_0 \pm \frac{1}{k_2} \quad (16)$$

Os parâmetros da equação de Peleg (k_1 and k_2) e a difusividade efetiva foram obtidos por estimativa dos parâmetros dos modelos não lineares com o software Statistica.

3.10 Modelo hidrodinâmico

O modelo hidrodinâmico de Fito é utilizado em processos que envolvem retiradas de água e de ar interno do alimento por pulso de vácuo (Eq. 17 a 24). Sendo assim, os dados experimentais podem ser ajustados pelo modelo hidrodinâmico para estimar os coeficientes de difusão (CORRÊA *et al.*, 2008, 2010; FALADE; IGBEKA, 2007; RASTOGI *et al.*, 2002; RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004).

Este modelo matemático considera a aproximação de equilíbrio (equação (17)):

$$z_{\infty}^{SS} = y_{\infty}^{SS} \quad (17)$$

onde z_{∞}^{SS} fração mássica de sólidos solúveis no alimento e y_{∞}^{SS} é a fração mássica de sólidos solúveis na solução osmótica, ambos no estado de equilíbrio. Como resultado, a difusividade efetiva (ou pseudo diffusividade) é a mesma para ambos os componentes - água e sólidos:

$$D_{\text{eff}_{w \text{ or } s}} = D_{\text{eff}_w} = D_{\text{eff}_s} \quad (18)$$

As mudanças na composição são função da força motriz reduzida, Y , dada por:

$$Y = Y_t^w = Y_t^s = \frac{z_t^w - z_{\text{eq}}^w}{z_0^w - z_{\text{eq}}^w} \quad (19)$$

A variação na composição da fase líquida do alimento (FLP) relacionada ao mecanismo hidrodinâmico (HDM) ocorre no princípio do processo ($t=0$ para $t=t_{\text{HDM}}$), onde este mecanismo é dominante e é dependente de gradientes de pressão:

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=0}^{t=t_{\text{HDM}}} \cong k \quad (20)$$

Após este período, o fenômeno é modelado com a equação de Fick para uma camada semi-infinita e curto tempo segundo Crank (1975), com a aproximação sugerida por Fito e Chiralt (1997):

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=t_{\text{HDM}}}^{t=t} = 2 \left(\frac{D_{\text{eff}} t}{L^2} \right) \left(\pi^{-0,5} + 2 \sum_{i=1}^{\infty} \text{ierfc} \frac{iL}{\sqrt{D_{\text{eff}} t}} \right) \quad (21)$$

Equação (21) pode ser simplificada no primeiro termo, resultando na equação (22):

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=t_{\text{HDM}}}^{t=t} = 2 \left(\frac{D_{\text{eff}} t}{\pi L^2} \right)^{0,5} \quad (22)$$

Estes dois efeitos são acoplados, considerando-se os efeitos dos mecanismos hidrodinamico e pseudo-fickiano:

$$1 - Y_t^w \Big|_{t=0}^{t=t} = k + 2 \left(\frac{D_{\text{eff}} t}{\pi L^2} \right)^{0,5} \quad (23)$$

Os parâmetros D_{eff} e k são obtidos para cada experimento por linearização da equação 23 ajustando por uso de logarítmo resultando em

$1 - Y_t^w \Big|_{PD,t>0}$ versus $t^{0,5}$.

O critério para avaliação do modelo que resulta em melhor ajuste deve ser a estimativa de erro padrão (SE):

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{OBS} - \text{PRED})^2}{n}} \quad (24)$$

onde OBS é o valor observado, PRED, o valor predito e n, o número de observações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição do tomate *in natura*

A composição centesimal química dos tomates utilizados nos ensaios (Tabela 3) foi determinada de acordo com as metodologias descritas no item 3.2. Os resultados obtidos foram próximos dos apresentados pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011). O valor do teor de umidade do tomate *in natura* foi próximo do encontrado por Heredia et al. (2012) para tomates cereja 91%, por Silva et al. (2010) de 94,45% para tomate da variedade Santa Cruz vermelha e por Tonon et al. (2006) de 94,49% para tomate da variedade Débora.

Tabela 3 Composição centesimal do tomate *in natura*

Análises	Valor médio±desvio padrão
Umidade[%]	94,98±0,02
Lipídeos[g]	11,5±0,00
Proteínas[g]	0,04±0,00
Fibras[g]	1,24±0,13
Carboidratos[g]	2,25±0,00
Cinzas[g]	0,46±0,1

O fruto *in natura* apresentou atividade de água 0,995, conteúdo inicial de licopeno 44, 82 mg/100g, luminosidade (L^*) 42,51, cor a^* 13,47, cor b^* 14,98.

4.2 Desidratação osmótica de fatias de tomate

O estudo da desidratação osmótica de fatias de tomate conduzidos neste trabalho foi realizado com base em um planejamento experimental do tipo Plackett Burman (PB) seguido de um planejamento experimental DCCR. No

PB, avaliaram-se os efeitos de cinco variáveis, a saber: concentração de cloreto de sódio, concentração de sacarose, temperatura, pressão de pulso de vácuo e tempo de aplicação de pulso de vácuo e como resultado, as variáveis que apresentaram nível de significância de 10% para as variáveis respostas foram utilizadas no DCCR. A adoção do nível de significância de 10% para o PB foi uma estratégia utilizada para minimizar o risco de excluir da etapa seguinte algum fator que foi importante num processo considerado complexo (RODRIGUES; IEMMA, 2005). Para comodidade de leitura, optou-se por não apresentar os resultados obtidos nesta fase do trabalho no corpo principal do texto. Estes resultados foram apresentados no Apêndice A. Pela mesma razão, a discussão dos efeitos com base nos fenômenos envolvidos também foi suprimida. Discussão semelhante, por efeitos semelhantes foram apresentados junto com os resultados do DCCR. Nesta etapa considerou-se nível de significância de 5%.

4.3 Plackett Burman (PB)

Neste item são apresentados os efeitos estatísticos obtidos no planejamento PB para as variáveis respostas. Os valores dos efeitos são analisados como valores absolutos, e maiores valores absolutos correspondem ao maior efeito (RODRIGUES; IEMMA, 2005).

4.3.1 Efeitos estatísticos de PA, GS e RP em PVOD de fatias de tomate

Na Tabela 4 são apresentados os valores dos efeitos estimados das variáveis estudadas para a resposta Perda de água (PA), Ganho de sólidos (GS) e Redução de peso (RP) em PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 10%.

Tabela 4 Valores dos efeitos estimados para as respostas PA, GS e RP

Fonte	PA	GS	RP
Média	30,3752*	3,2275*	24,2550*
X ₁	5,7517*	1,1608*	1,8144
X ₂	5,0572*	0,6899*	2,4330
X ₃	-4,0899*	-0,7055*	-3,2770*
X ₄	24,8640*	3,5764*	21,0790*
X ₅	10,5147*	1,8616*	9,6934*

Onde: X₁- Temperatura [°C]; X₂ – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X₃- Tempo do pulso de vácuo [min]; X₄ - Concentração de cloreto de sódio [%]; X₅ – Concentração de sacarose [%]

*Significância (p<0,10)

Observa-se que as variáveis apresentaram efeito significativo (p<0,10), sendo que a variável concentração de cloreto de sódio foi a mais influente para PA, GS e RP.

4.3.2 Efeitos estatísticos da atividade de água em PVOD de fatias de tomate

Na Tabela 5 são apresentados os valores dos efeitos estimados das variáveis estudadas para a resposta atividade de água em PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 10%.

Tabela 5 Valores dos efeitos estimados para a resposta a atividade de água

Fator	Efeito	Erro padrão	t(2)	p
Média	0,9482*	0,0005	1764,2701	0,0000
X₁	-0,0195*	0,0012	-16,2250	0,0038
X₂	-0,0098*	0,0012	-8,1818	0,0146
X₃	0,0058*	0,0012	4,8536	0,0399
X₄	-0,0735*	0,0012	-61,1557	0,0003
X₅	-0,0005	0,0012	-0,4160	0,7178

Onde: **X₁**- Temperatura [°C]; **X₂** – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; **X₃**- Tempo do pulso de vácuo[min]; **X₄** - Concentração de cloreto de sódio [%]; **X₅** – Concentração de sacarose

*Significância (p<0,10)

Observa-se que quatro das cinco variáveis estudadas apresentaram efeito significativo (p<0,10), sendo que a variável concentração de cloreto de sódio foi a mais influente, seguida pela temperatura e pressão do pulso de vácuo, nessa ordem de significância.

4.3.3 Efeitos estatísticos de teor de umidade da PVOD de fatias de tomate

Na Tabela 6 são apresentados os valores dos efeitos estimados das variáveis estudadas para a resposta o teor de umidade em PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 10%.

Tabela 6 Valores dos efeitos estimados para a resposta razão do teor de umidade

Fator	Efeito	Erro padrão	t(2)	p
Média	0,8006*	0,0020	397,0384	0,0000
X₁	-0,0428*	0,0045	-9,4990	0,0109
X₂	-0,0231*	0,0045	-5,1376	0,0359
X₃	0,0038	0,0045	0,8501	0,4848
X₄	-0,1188*	0,0045	-26,3532	0,0014
X₅	-0,0591*	0,0045	-13,1212	0,0058

Onde: **X₁**- Temperatura [°C]; **X₂** – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; **X₃**- Tempo do pulso de vácuo[min]; **X₄** - Concentração de cloreto de sódio [%]; **X₅** – Concentração de sacarose.

Observa-se que quatro das cinco variáveis estudadas apresentaram efeito significativo ($p < 0,10$), sendo que a variável concentração de cloreto de sódio foi a mais influente, seguida pela concentração de sacarose e temperatura, nessa ordem de significância.

4.3.4 Efeitos estatísticos do ganho de sal em PVOD de fatias de tomate

Na Tabela 7 são apresentados os valores dos efeitos estimados das variáveis estudadas para a resposta do ganho de sal na PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 10%.

Tabela 7 Valores dos efeitos estimados para o ganho de sal

Fator	Efeito	Erro Padrão	t(2)	p
Média	0,910*	0,023	38,428	0,000
X ₁	0,021	0,053	0,412	0,720
X ₂	-0,163*	0,053	-3,075	0,091
X ₃	0,177*	0,053	3,349	0,078
X ₄	1,705*	0,053	32,194	0,000
X ₅	-0,435*	0,053	-8,217	0,014

Onde: X₁- Temperatura [°C]; X₂ – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X₃- Tempo do pulso de vácuo[min]; X₄ - Concentração de cloreto de sódio [%]; X₅ – Concentração de sacarose.

Observa-se que quatro das cinco variáveis estudadas apresentaram efeito significativo ($p < 0,10$), sendo que a variável concentração de cloreto de sódio foi a mais influente, seguida pela concentração de sacarose e tempo do pulso de vácuo, nessa ordem de significância.

4.3.5 Efeitos estatísticos dos parâmetros de cor em PVOD de fatias de tomate

Na Tabela 8 são apresentados os valores dos efeitos estimados das variáveis estudadas para a resposta dos parâmetros de cor em PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 10%.

Tabela 8 Valores dos efeitos estimados para as respostas razão de cor L^* , a^* , b^* , ângulo Hue(H_{ab}), Chroma (C_{ab}) e diferença total de cor ΔE

Fator	L^*	a^*	b^*	H_{ab}	C_{ab}	ΔE
Média	39,8722*	18,0002*	16,5878*	42,9715*	24,9522*	7,4239*
X ₁	-1,4174*	1,1697	1,8392*	1,9317	1,3167*	1,6526*
X ₂	0,6368*	3,1361*	2,3378*	-1,0939	2,9929*	0,4739
X ₃	-1,0513*	-1,5397*	-0,4253	1,5433	-2,2584*	-1,3602*
X ₄	1,1479*	4,2803*	-1,4717*	-9,3821*	1,2565*	-0,2955
X ₅	1,0390*	2,7536*	1,7286*	-2,0538	2,3903*	0,1092

*Significância ($p < 0,10$)

Observa-se que as variáveis apresentaram efeito significativo ($p < 0,10$).

Analisando os valores de L^* , a variável concentração de cloreto de sódio foi a mais influente, seguida da temperatura e tempo do pulso de vácuo.

Em relação aos valores de a^* , a variável concentração de cloreto de sódio foi a mais influente, seguida da pressão do pulso de vácuo e concentração de sacarose.

Analisando os valores de b^* , a variável pressão do pulso de vácuo foi a mais influente seguida da temperatura e concentração de sacarose.

No que se diz a variável do ângulo Hue, observa-se que a variável concentração de cloreto de sódio apresentou efeito.

Quanto a variável chroma (C_{ab}), que a variável pressão do pulso de vácuo foi a mais influente, seguida da concentração de sacarose e tempo do pulso de vácuo.

Quanto a variável ΔE , a temperatura foi a variável mais influente, seguida do tempo do pulso de vácuo.

4.3.6 Efeitos estatísticos da razão de concentração de licopeno e β -caroteno em PVOD de fatias de tomate

Na Tabela 9 são apresentados os valores dos efeitos estimados das variáveis estudadas para a resposta teor de licopeno e β -caroteno em PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 10%.

Tabela 9 Valores dos efeitos estimados para a resposta teor de carotenóides (licopeno e β -caroteno)

Fator	Licopeno	β-caroteno
Média	60,5441*	13,6191*
Temperatura [°C]	13,8315*	0,3602
Pressão do pulso de vácuo [mbar]	-23,5058*	-10,7322*
Tempo de vácuo [min]	7,8754	3,9711*
Concentração de cloreto de sódio [%]	18,0719*	9,6779*
Concentração de sacarose [%]	-17,0445*	-2,3358

*Significância ($p < 0,10$)

Observa-se que os efeitos obtidos para o teor de licopeno a variável mais influente foi a pressão do pulso de vácuo, seguida da concentração de cloreto de sódio e concentração de sacarose. Para o teor de β -caroteno a variável mais influente foi a pressão do pulso de vácuo seguida da concentração de cloreto de sódio e tempo de vácuo.

4.4 Planejamento composto central rotacional

Na Tabela (10), apresentam-se os ensaios que proporcionaram os melhores resultados para cada resposta obtida no Plackett Burman para todas as respostas estudadas, para o estabelecimento dos níveis utilizados no DCCR. A seleção dos efeitos foi baseada para os níveis que forneceram maior perda de

água, ganho de sólidos, redução de peso, teor de carotenóides, valores dos parâmetros de cor que menos se distanciaram do *in natura*, menores valores do teor de água e atividade de água. A resposta do maior ganho de sólidos foi escolhida, pois esse resultado apresentou-se bem menor do que a perda de água, que é característico do processo de desidratação.

Tabela 10 Resultados dos parâmetros de qualidade para as condições de experimento estudadas

Variáveis	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Valores
Perda de água [%]	45*	150*	0	15*	35	60,35
Ganho de sólidos [%]	45*	150	0	15*	35*	9,03
Redução de peso [%]	45	150	0*	15*	35*	49,32
Atividade de água	45*	150*	0	15*	35	0,885
Teor de umidade [%]	45*	150	15	0*	35*	67,966
Ganho de sal [%]	45	150	0*	15*	15*	2,34
L*	45*	150	0*	15*	35*	41,44
a*	45	150*	0*	15*	35*	26,14
b*	45*	50*	0	0	35*	20,23
H	45	50	15	0*	15	52,47
C	45*	150*	0*	15	35*	32,00
ΔE	45*	150	0*	15	35	13,35
Teor de licopeno [mg/100g]	45*	50*	15	15*	15*	102,26
Teor de β-caroteno [mg/100g]	45	50*	15*	15*	15	39,80

X₁- Temperatura [°C]; X₂ – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X₃- Tempo do pulso de vácuo [min]; X₄- Concentração de cloreto de sódio [%]; X₅ – Concentração de sacarose [%].

As variáveis – Temperatura, pressão do pulso de vácuo, concentração de cloreto de sódio e concentração de sacarose apresentaram maior significância e foram selecionadas para a realização do planejamento fatorial composto central. O tempo do pulso de vácuo foi fixado em 10 minutos, porque um dos objetivos do trabalho foi avaliar a influência do pulso de vácuo no processo.

4.4.1 Determinações dos melhores níveis das variáveis operacionais do processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomate

A partir das informações obtidas do planejamento Plackett Burman, utilizou-se a técnica de superfície de resposta através da realização de um planejamento fatorial composto central, com o objetivo de determinar os níveis das variáveis operacionais que resultaram nas melhores condições da desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomate. Neste tipo de planejamento o número de níveis aumenta de 3 para 5, em relação ao planejamento de Plackett Burman, possibilitando assim verificar efeitos de segunda ordem na resposta, além de aumentar a faixa de estudo das variáveis e permitir verificar efeitos de interações entre os fatores (RODRIGUES; IEMMA, 2005).

Nos experimentos subsequentes, as variáveis selecionadas foram as de maior significância na PVOD de fatias de tomates, para o planejamento fatorial completo 2^4 , mais 8 pontos axiais e três pontos centrais, ou seja, planejamento estrela ou composto central. As demais variáveis foram fixadas conforme a representação dos efeitos na resposta da PVOD de fatias de tomates.

4.4.2 Níveis dos fatores utilizados no DCCR

As variáveis mais significativas para a desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomates foram a temperatura, a pressão do pulso de vácuo, a concentração de cloreto de sódio e a concentração da sacarose, que estão representadas na Tabela 11 juntamente com os níveis dos fatores utilizados no planejamento.

Tabela 11 Níveis dos fatores utilizados no planejamento composto central para a desidratação osmótica de fatias de tomates

Níveis	-2	-1	0	+1	+2
Temperatura [°C]	25	30	35	40	45
Pressão do pulso de vácuo [mbar]	37,5	56,25	75	112,5	150
Concentração de cloreto de sódio [%]	0	2,5	5	7,5	10
Concentração de sacarose [%]	10	17,5	25	32,5	40

O valor da concentração de cloreto de sódio foi reduzido de 15% para 10% no planejamento, pois estudos anteriores realizados para a DO de tomates verificaram que soluções osmóticas com concentrações maiores do que 5% de cloreto de sódio podem mudar o sabor natural dos tomates (SOUZA et al., 2007).

4.4.3 Matrizes do planejamento fatorial composto central e os resultados obtidos para cada variável

As matrizes do planejamento fatorial composto central e os resultados foram obtidos para as variáveis perda de água [PA], ganho de sólidos [GS], redução de peso [RP], atividade de água [a_w], teor de umidade [X_{bu}], parâmetros de cor [L^* , a^* , b^* , C_{ab} , H_{ab} , ΔE] e o teor de carotenóides (licopeno e β -caroteno).

O modelo quadrático de segunda ordem foi gerado para a variável resposta que na Análise de Variância apresentou o coeficiente de determinação maior do que 0,70 e o F calculado (F_c) maior do que pelo menos três vezes o valor do F tabelado (F_t) (BOX; WETZ, 1973).

As superfícies de respostas foram geradas a partir dos modelos obtidos e para a interação linear das variáveis que apresentou maior efeito no nível de significância de 5%.

4.4.4 Perda de água

Na Tabela 12 são apresentados os valores e desvios padrões obtidos para a resposta Perda de água da PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 5%.

Tabela 12 Valores e desvios padrões da perda de água da PVOD de fatias de tomates

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Perda de água [%]
1	-1	-1	-1	-1	23,08±0,80
2	+1	-1	-1	-1	24,36±1,05
3	-1	+1	-1	-1	23,14±3,18
4	+1	+1	-1	-1	24,23±1,71
5	-1	-1	+1	-1	26,88±1,02
6	+1	-1	+1	-1	33,04±3,10
7	-1	+1	+1	-1	31,83±2,55
8	+1	+1	+1	-1	29,45±1,46
9	-1	-1	-1	+1	33,73±2,99
10	+1	-1	-1	+1	38,93±0,93
11	-1	+1	-1	+1	31,06±5,64
12	+1	+1	-1	+1	38,09±1,10
13	-1	-1	+1	+1	36,58±3,15
14	+1	-1	+1	+1	41,35±2,78
15	-1	+1	+1	+1	37,92±2,27
16	+1	+1	+1	+1	42,15±1,20
17	-2	0	0	0	28,82±0,98
18	+2	0	0	0	38,72±0,51
19	0	-2	0	0	34,64±1,87
20	0	+2	0	0	32,49±1,09
21	0	0	-2	0	27,21±1,41
22	0	0	+2	0	36,62±1,94
23	0	0	0	-2	26,75±1,91
24	0	0	0	+2	39,90±2,56
25	0	0	0	0	33,38±1,51
26	0	0	0	0	32,83±0,15

“Tabela 12, conclusão”

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Perda de água [%]
27	0	0	0	0	33,15±1,62
28	0	0	0	0	33,62±1,77

X₁- Temperatura [°C]; X₂ – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X₃- Concentração de cloreto de sódio [%]; X₄ – Concentração de sacarose [%].

A perda de água atingiu os valores máximos próximos a 42,15% para a condição de temperatura 40°C, 112,5mbar, 7,5 % NaCl e 32,5% sacarose. Valor que se encontra dentro da faixa de perda de água obtida por Badwaik et al. (2013) na DO de brotos de bambu em solução ternária que foi de 32,19-46,76%; por Manivannan e Rajasimman (2011) na DO de beterrabas em solução de sacarose 29,7-54,28%, por Singh, Sharma e Sarkar (2010) para pepinos de 37,590-45,768% em solução de sacarose, por Ali et al. (2010) para DO de tomates em solução ternária de NaCl/sacarose 14,5-49,1%, por Azoubel e Silva (2008) 23,54-47,63% para manga nas condições de solução de sacarose, por Souza et al. (2007) na DO de tomate em fatias com casca 28,4-48,1, por Antonio et al. (2006) para DO de batata doce 28,52-42,99%, destacando que os experimentos citados utilizaram concentrações de solutos, principalmente de sacarose maiores do que as utilizadas no experimento em questão.

E o menor valor obtido de perda de água 23,08% para a condição de 30°C, 56,25mbar, 2,5% de NaCl e 17,5% de sacarose, foi próximo de valores obtidos por Vieira, Pereira e Hubinger (2012) para PVOD de goiabas 28,3% para condição de 60°Brix, 30°C e 19 minutos de pulso de vácuo (100mbar) e 3h de DO, por Silva, Corrêa e Silva (2010) para DO de goiabas de 25,868% em solução de sacarose e por Azoubel e Silva (2008) 23,54% para mangas.

Altas taxas de perda de água são desejáveis e são promovidas pelo gradiente de pressão entre o alimento e a solução osmótica. São favorecidas pelo uso de grandes proporções de solução osmótica concentrada, principalmente

soluções ternárias (ANTONIO et al., 2008; KEJING et al., 2012; MERCALI et al., 2011; VASCONCELOS, 2010; WANG et al., 2013).

Nas soluções ternárias os coeficientes de difusão são mais sensíveis a alterações na concentração de cloreto de sódio do que na concentração de sacarose (ADE-OMOWAYE; RASTOGI; KNORR, 2002). Em geral, baixas concentrações de sal devem ser usadas no processamento de fruta, para evitar uma diminuição significativa na qualidade organoléptica.

Efeitos estimados significativos para a resposta perda de água foram encontrados Tabela 13, juntamente com os parâmetros estatísticos e erro padrão. Os valores marcados com asteriscos (*) são significativos a um nível de significância de 5%.

Tabela 13 Efeitos estimados para a resposta perda de água

	Fator	Efeito	Erro padrão	p
	Média/interação	33,2477*	0,1677	0,0000
Linear (L)	X ₁	3,9357*	0,1369	0,0001
	X ₂	-0,3648	0,1369	0,0760
	X ₃	5,1178*	0,1369	0,0000
	X ₄	9,1753*	0,1369	0,0000
Quadrático (Q)	X ₁ ²	-0,0383	0,1369	0,7981
	X ₂ ²	-0,1401	0,1366	0,3807
	X ₃ ²	-0,9669*	0,1369	0,0058
	X ₄ ²	-0,262	0,1369	0,1516

"Tabela 13, conclusão"

	Fator	Efeito	Erro padrão	P
Interação	X_1X_2	-0,9266*	0,1677	0,0117
	X_1X_3	-0,2295	0,1677	0,2647
	X_1X_4	1,8863*	0,1677	0,0015
	X_2X_3	0,8843*	0,1677	0,0133
	X_2X_4	-0,3345	0,1677	0,1401
	X_3X_4	-1,2765*	0,1677	0,0047

Onde: X_1 - Temperatura [°C]; X_2 – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X_3 - Concentração de cloreto de sódio [%]; X_4 – Concentração de sacarose [%].

Os efeitos lineares da temperatura, concentração de cloreto de sódio e concentração de sacarose durante o processo de PVOD de fatias de tomates foram positivos, ou seja, o aumento dos níveis dessas variáveis no planejamento aumenta a perda de água. A concentração de sacarose foi a variável mais influente no aumento da perda de água.

O aumento da concentração de sacarose em soluções ternárias aumenta a transferência de água do interior dos tecidos do tomate (volume entre a parede celular e o plasmalema) para a solução osmótica, devido o aumento da pressão osmótica, favorecida pela permeabilidade da parede celular e corpo capilar poroso (SOUZA et al., 2007; RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004).

As soluções ternárias de sacarose/NaCl/água apresentam efeito sinérgico, favorecendo o aumento da perda de água em comparação com as soluções binárias salinas ou de sacarose e provocando maior encolhimento do protoplasma e penetração igual de ambos os solutos, mesmo utilizando-se baixas concentrações de sal (HEREDIA; BARRERA; ANDRES, 2007; MONNERAT et al., 2010).

Bui, Makhlof e Ratti (2009) ao estudarem a DO de tomates em soluções de sacarose no decorrer de 320 min, também verificaram efeito positivo

da temperatura e concentração de sacarose no aumento da perda de água e que a redução foi devida principalmente a variação da concentração de sacarose. A maior influência da concentração em relação à temperatura também foi verificada por Martínez-Valencia et al. (2011) para PVOD de melão em solução de sacarose; por Mayor et al. (2006) para DO de abóbora com solução de cloreto de sódio; por Souraki, Ghaffari e Bayat (2010) para DO de feijão verde em solução salina; por Azoubel e Silva (2008) para DO de mangas; por Ferrari et al. (2011) para DO de melão sob vácuo.

O efeito quadrático negativo foi verificado somente para a concentração de cloreto de sódio sobre a perda de água e foi menor do que os efeitos lineares. Efeito negativo quadrático também foi verificado por Azoubel e Silva (2008) na DO de manga, por Manivannan e Rajasimman (2011) para DO de cenouras em solução de sacarose.

Efeitos lineares de interação negativos também foram verificados em relação à temperatura com pulso de vácuo e concentração de cloreto de sódio e sacarose, ou seja, o aumento de ambas as variáveis na interação resulta na redução da perda de água.

Efeito negativo para a interação concentração de sal e sacarose também foi verificado por Bohuo et al. (1998) em processos experimentais de imersão com soluções ternárias.

Enquanto os efeitos entre a temperatura e concentração de sacarose e pulso de vácuo e concentração de cloreto de sódio foram positivos, ou seja, aumento de ambas as variáveis das interações resulta no aumento da perda de água. Efeitos positivos da interação temperatura e concentração de sacarose também foram verificados por Vieira, Pereira e Hubinger (2012) na DO de goiabas. Permitindo verificar também que a interação que apresentou maior efeito na perda de água foi da temperatura com a concentração de sacarose.

O aumento da temperatura ou concentração de solutos causa um aumento na transferência de massa porque aumenta o gradiente de pressão osmótica. Adicionalmente, altas temperaturas promovem rápida perda de água através do inchaço e plasticização da membrana celular e a rápida difusão de água do produto por causa da baixa viscosidade do meio osmótico (MERCALI et al., 2010). Além disso, o período de vácuo causa uma expansão e liberação dos gases internos oclusos, produzindo aumento do volume da amostra quando a liberação do gás é impedida (GRAS et al., 2002).

Para obtenção do modelo estatístico que descreva o comportamento da perda de água em diversas condições, realizou-se a análise de variância do processo (Tabela 14).

Tabela 14 Análise de variância para a resposta perda de água

Fonte	SQ	GL	QM	F _c	F _t
Regressão	788,7832	9	87,6426	31,95	2
Resíduos	49,3685	18	2,7427		
Falta de ajuste	49,031	15			
Erro puro	0,3375	3			R ² =0,9411
Total	838,1517	27			R ² _{ajustado} =0,9150

O modelo estatístico que representa a relação entre a variável temperatura, pressão do pulso de vácuo, concentração de cloreto de sódio e concentração de sacarose, para estimar a perda de água, é apresentado na Equação 10:

$$PA = 33,02 - 1,96(X_1) - 0,02(X_1^2) - 0,18(X_2) - 0,07(X_2^2) + 2,56(X_3) - 0,48(X_3)^2 + 4,58(X_4) - 0,13(X_4^2) - 0,46(X_1X_2) - 0,11(X_1X_3) + 0,94(X_1X_4) + 0,44(X_2X_3) - 0,16(X_2X_4) - 0,63(X_3X_4)$$

(10)

Na Tabela 14 verificou-se ao nível de significância de 5% que a relação de F_o/F_t foi maior do que 3 e obteve-se um bom coeficiente de determinação 0,9411, ou seja, 94% da variação amostral foi explicada pelo modelo proposto, sendo válido assim os parâmetros do estudo. Obteve-se a superfície de resposta (Figura 7) para a interação que apresentou o maior efeito, para a perda de água em função da temperatura e concentração de sacarose. Considerou-se os pontos médios da pressão do pulso de vácuo e concentração de cloreto de sódio constantes.

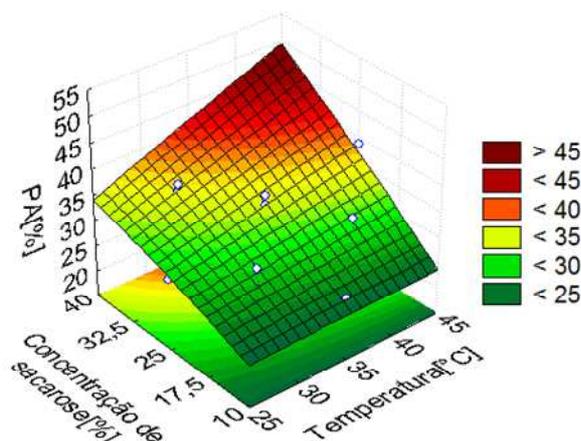


Figura 7 Superfície de resposta da perda de água em função da temperatura e da concentração de sacarose

Foi possível observar o aumento da perda de água com o aumento da concentração de sacarose.

O aumento na concentração da solução osmótica resulta no aumento do gradiente de pressão osmótica e, assim, maior perda de água (e captação de sal). Sendo assim, a escolha de meios de concentração mais altos, beneficiam o alcance de rápida perda de água (AZOUBEL; MURR, 2004).

4.4.5 Ganho de sólidos

Na Tabela 15 são apresentados os valores e desvios padrões obtidos para a resposta Ganho de sólidos da PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 5%.

Tabela 15 Valores e desvios padrões do ganho de sólidos da PVOD de fatias de tomates

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Ganho de sólidos [%]
1	-1	-1	-1	-1	1,69±0,09
2	+1	-1	-1	-1	1,50±0,06
3	-1	+1	-1	-1	1,47±0,09
4	+1	+1	-1	-1	1,45±0,05
5	-1	-1	+1	-1	1,87±0,08
6	+1	-1	+1	-1	2,74±0,10
7	-1	+1	+1	-1	2,36±0,34
8	+1	+1	+1	-1	2,27±0,11
9	-1	-1	-1	+1	2,52±0,08
10	+1	-1	-1	+1	3,05±0,12
11	-1	+1	-1	+1	2,06±0,30
12	+1	+1	-1	+1	3,10±0,21
13	-1	-1	+1	+1	3,16±0,15
14	+1	-1	+1	+1	4,22±0,52
15	-1	+1	+1	+1	3,01±0,19
16	+1	+1	+1	+1	3,06±0,15
17	-2	0	0	0	2,33±0,13
18	+2	0	0	0	3,44±0,20
19	0	-2	0	0	2,56±0,33
20	0	+2	0	0	2,47±0,17
21	0	0	-2	0	2,71±0,09
22	0	0	+2	0	3,25±0,21
23	0	0	0	-2	2,58±0,12
24	0	0	0	+2	3,38±0,20
25	0	0	0	0	3,02±0,08
26	0	0	0	0	2,95±0,10

“Tabela 15, conclusão”

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Ganho de sólidos [%]
27	0	0	0	0	3,14±0,18
28	0	0	0	0	3,12±0,04

X₁- Temperatura [°C]; X₂ – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X₃- Concentração de cloreto de sódio [%]; X₄ – Concentração de sacarose [%]

O valor máximo obtido para o ganho de sólidos de PVOD de fatias de tomates foi de 4,22% na condição de 40°C, 56,25mbar, 7,5% de cloreto de sódio e 32,5% de sacarose. Valor que se encontra dentro da faixa de ganho de sólidos obtidos por Hamledari, Bassiri e Tarzi (2012) na PVOD de bulbos de alho 0,26-6,95%; por Vasconcelos et al. (2012) na DO de figo da Índia em soluções ternárias 0,42-19,90%; por Vieira; Pereira e Hubinger (2012) na PVOD de goiabas 3,4-7,0%; por Rizzolo et al. (2007) na DO de morangos 1,33-4,93%; por Alves et al. (2005) na DO de acerola 2,050-7,564%. Adicionalmente, foi possível observar que o valor máximo obtido para o ganho de sólidos foi bem menor do que o valor mínimo obtido para a perda de água, que se deve ao processo seletivo osmótico através das membranas semipermeáveis celulares, o que é desejável para a eficiência do processo osmótico (SPIAZZI; MASCHERONI, 1997).

Baixas taxas de ganho de sólidos são desejadas, dependendo da aplicação final do produto. Quando altos níveis de sólidos são incorporados no fruto durante a desidratação osmótica, alterações sensoriais significativas podem ocorrer e o produto final pode apresentar um sabor diferente do fruto fresco (MERCALI et al., 2010).

O valor mínimo obtido foi de 1,45% na condição de 40°C, 112,5mbar, 2,5% de cloreto e 17,5% de sacarose, que se situa na faixa de ganho de sólidos 1,20-1,86% obtidos por Dermesonlouoglou; Giannakourou e Taoukis (2007) na

DO de tomates em solução osmótica constituída de solutos com diferentes carboidratos.

O aumento da concentração da solução osmótica resulta no aumento do gradiente de pressão osmótica e, assim, aumento da captação de soluto. O cloreto de sódio possui baixo peso molecular que permite uma alta taxa de penetração no material, aumenta a força motriz para a desidratação que é devido à capacidade de redução da atividade de água (AZOUBEL; MURR, 2004; TONON; BARONI; HUBINGER, 2006).

A Tabela 16 apresenta os valores dos efeitos estimados para a resposta de ganho de sólidos, juntamente com os parâmetros estatísticos. Os valores marcados com asteriscos são significativos a um nível de significância de 5%.

Tabela 16 Efeitos estimados para a resposta do Ganho de sólidos

	Fator	Efeito	Erro padrão	p
	Média/interação	3,0614*	0,0434	0,0000
Linear (L)	X ₁	0,4566*	0,0354	0,0010
	X ₂	-0,1818*	0,0354	0,0143
	X ₃	0,5784*	0,0354	0,0005
	X ₄	0,8690*	0,0354	0,0001
Quadrático (Q)	X ₁ ²	-0,2107*	0,0354	0,0095
	X ₂ ²	-0,3923*	0,0354	0,0016
	X ₃ ²	-0,1620*	0,0354	0,0197
	X ₄ ²	-0,1622*	0,0354	0,0196

“Tabela 16, conclusão”

	Fator	Efeito	Erro padrão	p
Interação	X ₁ X ₂	-0,1608*	0,0434	0,0342
	X ₁ X ₃	0,0651	0,0434	0,2306
	X ₁ X ₄	0,2671*	0,0434	0,0086
	X ₂ X ₃	-0,0779	0,0434	0,1706
	X ₂ X ₄	-0,1842*	0,0434	0,0240
	X ₃ X ₄	-0,053	0,0434	0,3095

*Significância 5% (p<0,05)

Onde: X₁- Temperatura [°C]; X₂ – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X₃- Concentração de cloreto de sódio [%]; X₄ – Concentração de sacarose [%]

O ganho de sólidos durante a desidratação osmótica é resultado da transferência de água do fruto para fora da célula, bem como da penetração da solução osmótica nos tecidos (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001).

Verificou-se que das quatro variáveis independentes estudadas, três apresentaram efeito significativo positivo a um nível de significância de 5% sobre o ganho de sólidos, o que significa dizer que a passagem do nível inferior para o nível superior, aumenta o ganho de sólidos.

O efeito linear positivo significativo da temperatura para o ganho de sólidos também foi verificado por Yadav, Yadav e Jatain (2012) para DO de pêssego em solução de sacarose. A temperatura age na diminuição da viscosidade da solução, inchaço, plasticização e destruição da estrutura da membrana celular (SOURAKI; GHAVAMI; TONDRO, 2013).

Efeito linear positivo da temperatura e concentração de soluto na solução osmótica também foi verificado por Badwaik et al. (2013) na DO de brotos de bambu em soluções ternárias; Azoubel e Silva (2008) na DO de manga; por Antonio (2006) na DO de batata doce, porém o último autor verificou que a concentração de cloreto de sódio apresentou maior efeito do que

a concentração de sacarose, distinguindo do resultado encontrado no presente trabalho de PVOD de fatias de tomate, que encontrou maior efeito da concentração de sacarose em relação à concentração de cloreto de sódio. As condições utilizadas nesses trabalhos se diferenciaram pela presença do pulso de vácuo e a utilização de menores concentrações de sacarose.

Soluções osmóticas menos concentradas apresentam baixa viscosidade e o pulso de vácuo favorece o efeito hidrodinâmico da entrada da solução, o que pode levar à desnaturação das membranas celulares e promover o ganho de solutos com pesos moleculares maiores como a sacarose (TALENS et al., 2002).

A incorporação de sólidos em tratamentos osmóticos realizados com aplicação de vácuo é dependente das características do material tais como a estrutura do tecido vegetal e membrana celular, os quais podem se modificar durante o processamento, ocasionando uma perda da integridade da estrutura do material (SHI; FITO; CHIRALT, 1995; RASTOGI et al., 2002).

Segundo Tsamo et al. (2005) as soluções de sacarose adicionadas com cloreto de sódio favorecem a remoção de água, com uma pequena incorporação de sólidos. A maior influência da concentração de sacarose parece reger o processo de transferência de massa da PVOD de fatias de tomates, uma vez que se encontra em maior quantidade na solução. Embora de maneira discreta, a influência da concentração de cloreto de sódio, mesmo estando em menor proporção, sua presença foi capaz de contribuir na massa molar global da solução osmótica, afetando com isso o processo de transferência de massa (EL-AQUAR; MURR, 2003).

Os efeitos quadráticos para duas das quatro variáveis estudadas foram negativos, indicando que a curvatura apresenta um ponto de máximo na superfície de contorno.

O efeito de interação também foi verificado em relação à temperatura e concentração de sacarose, temperatura e pressão do pulso de vácuo, pressão do pulso de vácuo e concentração de sacarose ao nível de significância de 5%.

Para obter um modelo estatístico que descreva o comportamento do ganho de sólidos em diversas condições, foi necessário fazer a análise de variância do processo (Tabela 17).

Tabela 17 Análise de variância para a resposta ganho de sólidos

Fonte	SQ	GL	QM	F _c	F _t
Regressão	8,8488	6	1,4748	9,6747	3,81
Resíduos	3,2012	21	0,1524		
Falta de ajuste	3,1786	18	0,1766		
Erro puro	0,0226	3	0,0075		R ² =0,7918
Total	12,0500	27			R ² _{ajustado} =0,6486

Erro puro=0,0075

O modelo estatístico que representa a relação entre a variável temperatura, pressão do pulso de vácuo, concentração de cloreto de sódio e concentração de sacarose, para estimar o ganho de sólidos, foi apresentado na Equação 11:

$$\begin{aligned}
 GS = & 3,06 + 0,22(X_1) - 0,10(X_1)^2 - 0,10(X_2) - 0,20(X_2)^2 + 0,30(X_3) - 0,08(X_3)^2 \\
 & + 0,43(X_4) - 0,08(X_4)^2 - 0,08(X_1X_2) + 0,03(X_1X_3) + 0,13(X_1X_4) - 0,03(X_2X_3) - \\
 & 0,10(X_2X_4) - 0,02(X_3X_4)
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Na Tabela 17 verificou-se ao nível de significância de 5% que a relação de F_c/F_t não foi maior do que 3, porém obteve-se um bom coeficiente de determinação 0,7918, ou seja, 79% da variação amostral foi explicada pelo modelo proposto, sendo válido assim os parâmetros do estudo. Obteve-se a

superfície de resposta (Figura 8) para o ganho de sólidos em função da temperatura e concentração de sacarose, que foi a interação mais significativa, durante a PVOD de fatias de tomates, considerando os pontos médios da pressão do pulso de vácuo e concentração de cloreto de sódio constante.

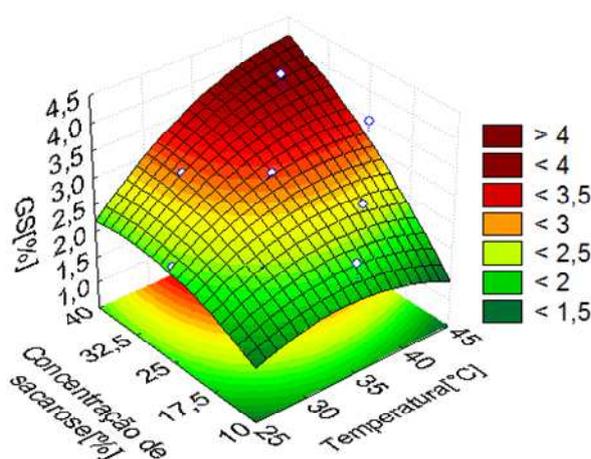


Figura 8 Superfície de resposta do ganho de sólidos em função da temperatura [°C] e da concentração de sacarose[%]

Foi possível observar que o ganho de sólidos aumenta com o aumento da concentração de sacarose.

Chang, Han e Kim (2003) usaram solução ternária de açúcar e sal na DO de abóbora verde (*Cucurbita Spp. L.*) e verificaram que a taxa de desidratação aumentou com a temperatura do processo e com o aumento da concentração da solução osmótica. Comportamento também verificado por Sereno, Moreira e Martinez (2001), para DO de maçã em soluções ternárias; Mayor et al. (2006) verificaram o mesmo comportamento para DO de abóbora em solução de cloreto de sódio; Panagiotou, Karathanos e Maroulis (1998) para a desidratação osmótica de maçã, banana e kiwi em solução de sacarose.

4.4.6 Redução de peso

Na Tabela 18 são apresentados os valores e desvios padrões obtidos para a resposta Redução de peso da PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 5%.

Tabela 18 Valores e desvios padrões da Redução de peso da PVOD de fatias de tomates

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Redução de peso
1	-1	-1	-1	-1	18,07±0,92
2	+1	-1	-1	-1	19,37±1,23
3	-1	+1	-1	-1	17,06±2,41
4	+1	+1	-1	-1	18,95±1,99
5	-1	-1	+1	-1	19,94±1,23
6	+1	-1	+1	-1	24,83±3,83
7	-1	+1	+1	-1	24,56±3,12
8	+1	+1	+1	-1	24,49±1,17
9	-1	-1	-1	+1	27,54±3,63
10	+1	-1	-1	+1	31,87±1,15
11	-1	+1	-1	+1	27,08±5,20
12	+1	+1	-1	+1	31,98±2,77
13	-1	-1	+1	+1	28,89±3,93
14	+1	-1	+1	+1	34,84±3,48
15	-1	+1	+1	+1	30,56±2,83
16	+1	+1	+1	+1	35,85±1,50
17	-2	0	0	0	19,20±1,22
18	+2	0	0	0	31,57±0,64
19	0	-2	0	0	26,47±2,33
20	0	+2	0	0	23,78±1,36
21	0	0	-2	0	17,19±1,76
22	0	0	+2	0	28,95±2,43
23	0	0	0	-2	16,62±2,38
24	0	0	0	+2	33,04±3,20
25	0	0	0	0	24,90±1,88
26	0	0	0	0	24,21±0,19

“Tabela 18, conclusão”

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Redução de peso
27	0	0	0	0	24,60±2,03
28	0	0	0	0	24,48±2,08

Onde: X₁- Temperatura [°C]; X₂ – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X₃- Concentração de cloreto de sódio [%]; X₄ – Concentração de sacarose [%]

O valor máximo obtido para a redução de peso de PVOD de fatias de tomate foi de 35,85% na condição de 40°C, 112,5mbar, 7,5% de cloreto de sódio e 32,5% de sacarose, que se encontra dentro da faixa obtida por Mayor et al. (2006) na DO de abóbora em solução salina 0-37%, que verificaram ainda que a redução do volume foi linear em função da redução de peso.

Souza et al. (2007) verificaram que as melhores condições que obtiveram valores maiores de redução de peso foram de 5% de sal e 35% de sacarose para DO de tomates em solução ternária. Sablani e Rahman (2002) verificaram que a redução de peso também foi favorecida pela geometria (placas planas) da amostra utilizada, devido a maior área de contato da fruta com a solução desidratante.

O valor mínimo foi de 16,62% na condição 35°C, 75mbar, 5% de cloreto de sódio e 25%de sacarose. Valor que se encontra dentro da faixa de ganho de sólidos obtida por Vieira, Pereira e Hubinger (2012) na DO de goiabas que foi de 11,3-22,4%, por Alves et al. (2005) na DO de acerola em soluções ternárias 6,387-24,623%. Comparando a condição obtida para o valor máximo da redução de peso com a condição obtida para o valor mínimo, foi possível verificar que a redução de peso apresentou dependência do aumento das condições do processo a um nível de significância de 5% (Tabela 19).

Tabela 19 Efeitos estimados para a resposta Redução de peso

	Fator	Efeito	Erro padrão	p
	Média/interação	24,5533*	0,1429	0,0000
Linear (L)	X ₁	4,4351*	0,1167	0,0000
	X ₂	-0,0191	0,1166	0,8805
	X ₃	4,6282*	0,1167	0,0000
	X ₄	9,5150*	0,1167	0,0000
Quadrático (Q)	X ₁ ²	0,8820*	0,1167	0,0048
	X ₂ ²	0,7499*	0,1164	0,0076
	X ₃ ²	-0,2775	0,1167	0,0978
	X ₄ ²	0,6027*	0,1167	0,0141
Interação	X ₁ X ₂	-0,5594*	0,1429	0,0296
	X ₁ X ₃	0,4528	0,1429	0,0505
	X ₁ X ₄	1,5596*	0,1429	0,0016
	X ₂ X ₃	1,0918*	0,1429	0,0047
	X ₂ X ₄	-0,0662	0,1429	0,6747
	X ₃ X ₄	-1,0888*	0,1429	0,0047

Onde: X₁- Temperatura [°C]; X₂ – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X₃- Concentração de cloreto de sódio [%]; X₄ – Concentração de sacarose [%]

A variável que apresentou o maior efeito na resposta da redução de peso foi à concentração de sacarose. Comportamento que corrobora com o obtido por Vieira, Pereira e Hubinger (2012) para goiabas e por Antonio (2006) na DO de fatias de batata.

Lombard et al. (2008) verificaram que ao trabalharem com pulso de vácuo na DO de pepinos obtiveram uma menor redução de peso e relacionaram com a ação do mecanismo hidrodinâmico. O gradiente de pressão estabelecido durante o pulso de vácuo promove o escoamento dos gases internos. Uma

compressão do gás residual ocorre quando a pressão atmosférica é restaurada, que é acompanhada de uma absorção da solução externa (FITO, 1994).

Efeitos positivos quadráticos foram obtidos para a temperatura, pressão do pulso de vácuo e concentração de sacarose.

Efeitos positivos em relação às interações foram verificados como a interação da temperatura com a concentração de cloreto de sódio, temperatura e concentração de sacarose, pressão do pulso de vácuo e concentração de cloreto de sódio, enquanto efeitos negativos também foram observados para a interação da temperatura com a pressão do pulso de vácuo e para a interação da concentração de cloreto de sódio com a concentração de sacarose.

Efeito positivo para a interação da temperatura com a concentração de sacarose para a redução de peso também foi verificada por Manivannan e Rajasimman (2011) na DO de beterraba em solução de sacarose e por Vieira, Pereira e Hubinger (2012) na DO de goiabas em solução de sacarose.

Para obter um modelo estatístico que descreva o comportamento da redução de peso em diversas condições, foi necessário fazer a análise de variância do processo, cujos resultados são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 Análise de variância para a resposta redução de peso

Fonte	SQ	GL	QM	F _c	F _t
Regressão	820,95242	12	68,412702	25,325291	2,02
Resíduos	40,520384	15	2,7013589		
Falta de ajuste	40,275284	12			
Erro puro	0,2450994	3			R ² =0,9530
Total	861,4728	27			R ² _{ajustado} =0,9230

O modelo estatístico que representa a relação entre a variável temperatura, pressão do pulso de vácuo, concentração de cloreto de sódio e

concentração de sacarose, para estimar a redução de peso, é apresentado na Equação 12:

$$\begin{aligned}
 RP = & 24,55 - 2,21(X_1) + 0,44(X_1)^2 - 0,01(X_2) + 0,37(X_2)^2 + 2,31(X_3) - 0,13(X_3)^2 + \\
 & 4,75(X_4) - 0,30(X_4)^2 - 0,28(X_1X_2) + 0,22(X_1X_3) + 0,78(X_1X_4) + 0,54(X_2X_3) - \\
 & 0,03(X_2X_4) - 0,54(X_3X_4)
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Na Tabela 20 verificou-se ao nível de significância de 5% que a relação de F_c/F_t foi maior do que 3 e obteve-se um bom coeficiente de determinação 0,9530, ou seja, 95,30% da variação amostral foi explicada pelo modelo proposto, sendo válido assim os parâmetros do estudo. Obteve-se a superfície de resposta (Figura 9) para a redução de peso em função da temperatura e concentração de sacarose, considerando os pontos médios constantes da pressão do pulso de vácuo e concentração de cloreto de sódio durante a desidratação osmótica de fatias de tomates.

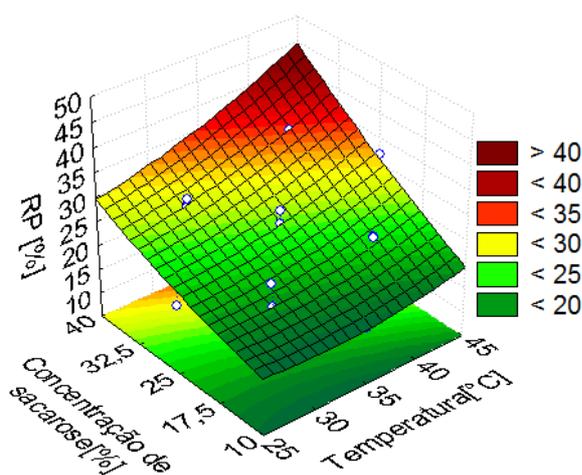


Figura 9 Superfície de resposta da redução de peso em função da temperatura [°C] com a concentração de sacarose [%]

Foi possível observar que a redução de peso aumenta com o aumento da concentração de sacarose.

Elaouar et al. (2006) verificaram que na DO de mamão depois de 210 minutos de DO à temperatura exerce um pequeno efeito na redução de peso usando solução de sacarose.

4.4.7 Atividade de água

Na Tabela 21 são apresentados os valores e desvios padrões obtidos para a resposta atividade de água da PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com asteriscos (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 5%.

Tabela 21 Valores e desvios padrões da atividade de água da PVOD de fatias de tomates

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Atividade água
1	-1	-1	-1	-1	0,978±0,001
2	+1	-1	-1	-1	0,979±0,000
3	-1	+1	-1	-1	0,981±0,001
4	+1	+1	-1	-1	0,976±0,001
5	-1	-1	+1	-1	0,960±0,001
6	+1	-1	+1	-1	0,951±0,001
7	-1	+1	+1	-1	0,954±0,002
8	+1	+1	+1	-1	0,953±0,001
9	-1	-1	-1	+1	0,971±0,003
10	+1	-1	-1	+1	0,970±0,001
11	-1	+1	-1	+1	0,975±0,001
12	+1	+1	-1	+1	0,972±0,001
13	-1	-1	+1	+1	0,953±0,001
14	+1	-1	+1	+1	0,947±0,001
15	-1	+1	+1	+1	0,961±0,002
16	+1	+1	+1	+1	0,948±0,002
17	-2	0	0	0	0,981±0,002
18	+2	0	0	0	0,962±0,001
19	0	-2	0	0	0,971±0,001

20 0 +2 0 0 0,968±0,001

“Tabela 21, conclusão”

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Atividade água
21	0	0	-2	0	0,990±0,001
22	0	0	+2	0	0,948±0,002
23	0	0	0	-2	0,970±0,001
24	0	0	0	+2	0,966±0,005
25	0	0	0	0	0,968±0,002
26	0	0	0	0	0,965±0,001
27	0	0	0	0	0,965±0,001
28	0	0	0	0	0,965±0,002

Onde: X₁- Temperatura [°C]; X₂ – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X₃- Concentração de cloreto de sódio [%]; X₄ – Concentração de sacarose [%]

Foi possível observar na tabela 21 que a atividade de água variou de 0,990 na condição de 35°C, 75 mbar, 0% de cloreto e 25% de sacarose até 0,947 na condição de 40°C, 56,25mbar, 7,5% de cloreto e 32,5% de sacarose. O valor máximo obtido para atividade de água encontra-se dentro da faixa dos valores encontrados por Vieira, Pereira e Hubinger (2012) para DO de goiabas que foi de 0,992-0,976; por Mújica-Paz et al. (2003) na DO de maçã, melão e manga que foi de 0,993-0,980. O valor mínimo encontrado para atividade de água encontra-se dentro da faixa dos valores obtidos por Heredia et al. (2012) na DO de tomates cerejas que foi de 0,802-0,981%; por Elaouar et al. (2006) para a DO de mamão 0,939-0,971.

A utilização de altas concentrações de sal (acima de 7%p/p) fornece baixos índices de atividade de água, independente da temperatura e da concentração de sacarose utilizada (CORRÊA et al., 2010). Este fato é justificado, pela baixa atividade de água e baixo peso molecular que o cloreto de sódio apresenta que é uma substância eletrolítica, que se dissocia em íons, e interage com as moléculas de água, além de causar encolhimento significativo

do protoplasto, impregnação de soluto (MONNERAT et al., 2010; TONON; BARONI; HUBINGER, 2006; ANTONIO et al., 2006). Entretanto, o sabor salgado é indesejável nos frutos secos, limitando seu uso em altas concentrações (ASKARI; EMAM-DJOMEH; TAHMASBI, 2009).

As amostras tratadas com um pulso de vácuo também podem apresentar um valor a_w inferior para a mesma quantidade de perda de água (LOMBARD et al., 2008).

A perda de água, aliada à alta capacidade apresentada pelo sal de reduzir a a_w , principalmente adicionado numa solução binária de sacarose, faz com que esta resposta seja menor, à medida que a concentração de NaCl na solução aumenta, mesmo em concentrações bem menores do que de sacarose.

A tabela 22 apresenta os valores dos efeitos estimados para a resposta da atividade de água, juntamente com os parâmetros estatísticos. Os valores marcados com asteriscos são significativos a um nível de significância de 5%.

Tabela 22 Efeitos estimados para a resposta atividade de água

	Fator	Efeito	Erro padrão	p
	Média/interação	0,9655*	0,0007	0,0000
Linear (L)	X ₁	-0,0062*	0,0006	0,0015
	X ₂	0,0006	0,0006	0,3304
	X ₃	-0,0214*	0,0000	0,0000
	X ₄	-0,0034*	0,0006	0,0085
Quadrático (Q)	X ₁ ²	0,0012	0,0006	0,1193
	X ₂ ²	0,0002	0,0006	0,7437
	X ₃ ²	-0,0001	0,0006	0,9278
	X ₄ ²	-0,0006	0,0006	0,3898
Interação	X ₁ X ₂	-0,0010	0,0007	0,2354
	X ₁ X ₃	-0,0026*	0,0007	0,0317
	X ₁ X ₄	-0,0014	0,0007	0,1275
	X ₂ X ₃	0,0000	0,0007	0,9997

X_2X_4	0,0024*	0,0007	0,0375
X_3X_4	0,0022*	0,0007	0,0493

O maior efeito na redução da atividade de água foi em relação à concentração de cloreto de sódio, comportamento que corrobora com o obtido por Antonio (2006) para a DO de batata doce. O mesmo autor ainda menciona que a adição de sais, açúcares e de outras substâncias provoca a redução do valor da atividade de água de um alimento por reduzir o valor da pressão parcial de vapor da água no alimento, sendo essa diminuição variável em função da natureza da(s) substância(s) adicionada(s), da quantidade acrescentada e da temperatura.

Efeito linear negativo da temperatura em relação à atividade de água, também foi verificado por Antonio et al. (2008) na DO de batata doce e por Elaouar et al. (2006) para a DO de mamão. O que significa que a atividade de água reduz com a passagem da temperatura e com o aumento da temperatura. Este efeito proporciona melhor transferência de água na superfície do produto devido à baixa viscosidade do meio osmótico (CHENLO et al., 2002; MOREIRA; SERENO, 2003).

Soluções ternárias limitam a captação de solutos e aumentam a perda de água comparada com soluções binárias. O maior tamanho da molécula de sacarose em comparação com a de cloreto de sódio pode impedir sua entrada na célula e reduzir o poder de redução da atividade de água da solução osmótica, promovendo o fluxo de água (HEREDIA; BARRERA; ANDRES, 2007).

O aumento da concentração da solução osmótica favorece a incorporação do soluto pelo material, acarretando em ligações entre as moléculas de soluto incorporadas e as moléculas de água livre que interagem com os grupos orgânicos polares das moléculas de soluto. Estas ligações provocam conseqüentemente à diminuição da disponibilidade de água livre, ocasionando a redução da atividade de água do material (UBOLDI, 1981).

Efeito negativo da interação da temperatura com a concentração de cloreto de sódio foi observada, como também efeito positivo da interação pressão do pulso de vácuo com a concentração de sacarose e da concentração de cloreto de sódio com a concentração de sacarose. A concentração de sacarose por si só não influenciou a atividade de água, influenciou somente quando se apresentou em conjunto com a pressão do pulso de vácuo e a concentração de cloreto.

Quanto maior a temperatura e a concentração de soluto, menor a atividade de água, pois, quanto maior a concentração, maior o número de ligações entre as moléculas de água e o alimento e por consequência menos água disponível o produto terá (DAMODARAN; PARKI; FENNEMA, 2010).

Para obter um modelo estatístico que descreva o comportamento da atividade de água em diversas condições, foi necessário fazer a análise de variância do processo, cujos resultados são apresentados na Tabela.23.

Tabela 23 Análise de variância para a resposta atividade de água

Fonte	SQ	GL	QM	F _c	F _t
Regressão	0,003107	7	0,0004	36,5995	2,51
Resíduos	0,000243	20	0,0000		
Falta de ajuste	0,000237	17	0,0000		
Erro puro	0,000006	3	0,0000		R ² =0,9276
Total	0,003350	27			R ² _{ajustado} =0,9022

O modelo estatístico que representa a relação entre a variável temperatura, pressão do pulso de vácuo, concentração de cloreto de sódio e concentração de sacarose, para estimar a atividade de água, é apresentado na Equação 13:

$$a_w = 0,96 - 0,003(X_1) + 0,00(X_1)^2 + 0,00(X_2) + 0,00(X_2)^2 - 0,01(X_3) - 0,00(X_3)^2 - 0,001(X_4) - 0,00(X_4)^2 - 0,00(X_1X_2) - 0,001(X_1X_3) + 0,001(X_2X_4) + 0,00(X_2X_3) + 0,001(X_2X_4) + 0,001(X_3X_4)$$

(13)

Na Tabela 23 verificou-se ao nível de significância de 5% que a relação de F_c/F_t foi maior do que 3 e obteve-se um bom coeficiente de determinação 0,9276, ou seja, 92,76% da variação amostral foi explicada pelo modelo proposto, sendo válido assim os parâmetros do estudo. Obteve-se a superfície de resposta (Figura 10) para a atividade de água em função da temperatura e concentração de cloreto de sódio, considerando os pontos médios constantes da pressão do pulso de vácuo e concentração de sacarose durante a desidratação osmótica de fatias de tomates.

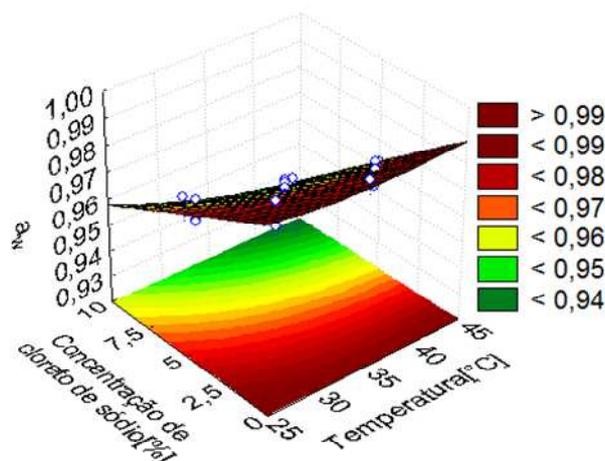


Figura 10 Superfície de resposta e de contorno da atividade de água em função: da temperatura e concentração de sacarose [%]

Foi possível observar que a atividade de água diminui com o aumento da concentração de cloreto.

A utilização de altas concentrações de sal (acima de 7%p/p) fornece baixos índices de atividade de água, independente da temperatura e da

concentração de sacarose utilizada, este fato é justificado, mais uma vez, pela baixa atividade de água e baixo peso molecular que o cloreto de sódio apresenta (ANTONIO et al., 2006), resultado também encontrado por Mújica-Paz et al. (2003) para manga, maçã e melão.

4.4.8 Teor de umidade

Na Tabela 24 são apresentados os valores e desvios padrões obtidos para a resposta teor de umidade da PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 5%.

Tabela 24 Valores e desvios padrões do teor de umidade da PVOD de fatias de tomates

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Teor de umidade[%]
1	-1	-1	-1	-1	85,9921±0,3341
2	+1	-1	-1	-1	85,7967±2,4152
3	-1	+1	-1	-1	86,3319±0,1533
4	+1	+1	-1	-1	85,5021±0,3191
5	-1	-1	+1	-1	83,2528±0,1715
6	+1	-1	+1	-1	80,2205±0,1099
7	-1	+1	+1	-1	81,7984±0,3513
8	+1	+1	+1	-1	81,5068±0,2397
9	-1	-1	-1	+1	82,5359±0,5482
10	+1	-1	-1	+1	80,0368±0,1745
11	-1	+1	-1	+1	83,1951±0,7389
12	+1	+1	-1	+1	80,0899±0,1911
13	-1	-1	+1	+1	78,6635±0,5919
14	+1	-1	+1	+1	75,7826±0,1942
15	-1	+1	+1	+1	79,8240±0,0776
16	+1	+1	+1	+1	76,8050±0,6008
17	-2	0	0	0	85,7563±0,5014
18	+2	0	0	0	80,9597±0,2889
19	0	-2	0	0	82,9580±0,4965
20	0	+2	0	0	82,2532±0,8341
21	0	0	-2	0	79,8240±0,0776

22	0	0	+2	0	78,2468±0,4831
23	0	0	0	-2	83,7816±0,5726
24	0	0	0	+2	78,8298±2,0984
25	0	0	0	0	81,7545±0,3345
26	0	0	0	0	80,5546±0,3446

“Tabela 24, conclusão”

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Teor de umidade[%]
27	0	0	0	0	81,1050±0,3510
28	0	0	0	0	81,2017±0,3402

Onde: X₁- Temperatura [°C]; X₂ – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X₃- Concentração de cloreto de sódio [%]; X₄ – Concentração de sacarose [%]

O valor mínimo obtido foi de 75,7826% para as condições de 40°C, 56,25 mbar, 7,5% de cloreto de sódio e 32,5% de sacarose. O valor máximo foi 85,7967% para a condição de 40°C, 56,25 mbar, 2,5% de cloreto de sódio e 17,5% de sacarose. Esses valores encontram-se situados na faixa do conteúdo de umidade obtida por Fante et al. (2011) para a PVOD de ameixas 88-74,4%.

A redução do valor de umidade de tomates desidratados osmoticamente para valores menores do que 90% pode proporcionar uma secagem mais rápida posteriormente, além de ser um indicativo da escolha adequada do tempo de imersão (DERMESONLOUOGLOU; POURGOURI; TAOUKIS, 2008; LEWICKI et al., 2002).

Altas concentrações de açúcar na solução podem formar uma camada densa de soluto na superfície do fruto, dificultando a transferência de massa entre o fruto e a solução osmótica, impedindo a impregnação de cloreto de sódio, cuja ação reforça o incremento na diferença de pressão osmótica, aumentando a diminuição da umidade (CORRÊA et al., 2010; VASCONCELOS, 2010).

Heredia, Barrera e Andres (2007), também verificaram a redução do conteúdo de umidade durante a DO de tomates cereja, em acordo com o gradiente de potencial químico existente entre o fruto e a solução osmótica.

Quando fatias de tomate são desidratadas com a epiderme, a difusividade é inferior quando comparada com a difusividade do tomate sem a epiderme. Quando o pré-tratamento osmótico é empregado, o gradiente de pressão osmótica é maior entre a fruta e a solução osmótica e a sacarose força o seu caminho para a fruta provocando o colapso das membranas da parede celular. O efeito do colapso na membrana da parede celular é mais forte sobre as estruturas duras (tal como a casca) do que em estruturas moles que já têm microcanais que proporcionam a molécula de sacarose, com um percurso fácil para difusão (SOUZA et al., 2007).

Prinzivalli et al. (2006) verificaram que depois de 40 min de desidratação osmótica a membrana da parede celular inicia seu rompimento, fenômeno que aumenta depois de 1,5h de desidratação osmótica. Quando a parede celular se rompe a difusão efetiva de água torna-se mais fácil e a difusão efetiva de água aumenta como é observado para tomates com casca. Isto resulta em baixa transferência de massa de sólido e aumenta o parâmetro de resistência do tomate com casca, ocasionando menor ganho de sólidos e como consequência a barreira formada pela sacarose é reduzida, aumentando a difusividade efetiva de água (SOUZA et al., 2007).

A Tabela 25 apresenta os valores dos efeitos estimados para a resposta do teor de umidade, juntamente com os parâmetros estatísticos erro padrão. Os valores marcados com asteriscos são significativos a um nível de significância de 5%.

Tabela 25 Efeitos estimados para a resposta teor de umidade

	Fator	Efeito	Erro padrão	p
	Média/interação	81,1543*	0,2457	0,0000
Linear (L)	X ₁	-2,1206*	0,2006	0,0018
	X ₂	1,1463*	0,2007	0,0106
	X ₃	0,1125	0,2005	0,6139
	X ₄	0,7676*	0,2002	0,0313
Quadrático (Q)	X ₁ ²	-2,8985*	0,2006	0,0007
	X ₂ ²	-1,0150*	0,2007	0,0149
	X ₃ ²	-3,6145*	0,2006	0,0004
	X ₄ ²	0,1202	0,2007	0,5915
Interação	X ₁ X ₂	0,1701	0,2457	0,5385
	X ₁ X ₃	-0,3243	0,2457	0,2786
	X ₁ X ₄	-0,8944*	0,2457	0,0357
	X ₂ X ₃	0,1586	0,2457	0,5647
	X ₂ X ₄	0,378	0,2457	0,2216
	X ₃ X ₄	0,2577	0,2457	0,3713

Observou-se o efeito linear negativo da temperatura no teor de umidade, ou seja, a passagem da temperatura do nível mínimo -2 para o nível máximo +2 ocasiona a redução do teor de umidade. Por outro lado, verificou-se o efeito linear positivo da concentração de sacarose e da pressão do pulso de vácuo, ou seja, a passagem da concentração da sacarose e da pressão do pulso de vácuo do nível mínimo -2, para o nível máximo +2, pode provocar o aumento do teor de umidade.

Efeitos negativos da temperatura foram observados por Vieira (2010) para DO de abacaxi em solução de sacarose.

Foi também verificado efeito quadrático negativo em relação à temperatura, pressão do pulso de vácuo e concentração de cloreto de sódio, indicando um ponto máximo ótimo.

Em relação às interações, somente foi significativa da temperatura com a concentração de sacarose, no qual descreve que a redução da temperatura com a concentração de sacarose, aumenta o teor de umidade.

Para obter um modelo estatístico que descreva o comportamento do teor de umidade em diversas condições, foi necessário fazer a análise de variância do processo, cujos resultados são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 Análise de variância para a resposta teor de umidade

Fonte	SQ	GL	QM	Fc	Ft
Regressão	181,2948	7	25,8992	22,5509	2,51
Resíduos	22,9696	20	1,1484		
Falta de ajuste	22,2450	17	1,3085		
Erro puro	0,7246	3	0,2415		R ² =0,8875
Total	204,2644	27			R ² ajustado=0,8482

O modelo estatístico que representa a relação entre a variável temperatura, pressão do pulso de vácuo, concentração de cloreto de sódio e concentração de sacarose, para estimar o teor de umidade, é apresentado na Equação 14:

$$\begin{aligned}
 X_{bu} = & 81,15 - 1,06(X_1) + 0,56(X_1)^2 + 0,05(X_2) + 0,38(X_2)^2 - 1,45(X_3) - 0,50(X_3)^2 \\
 & - 1,80(X_4) + 0,06(X_4)^2 - 0,08(X_1X_2) - 0,16(X_1X_3) - 0,44(X_1X_4) + 0,07(X_2X_3) + \\
 & 0,18(X_2X_4) + 0,12(X_3X_4)
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Pode-se considerar que o modelo adquirido para o teor de umidade foi preditivo. Foi obtida uma relação $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ maior do que três vezes, além

de um coeficiente de determinação de ajuste maior do que 0,70. Sendo assim válido o modelo e a partir dele foi gerada a superfície de resposta Figura 11.

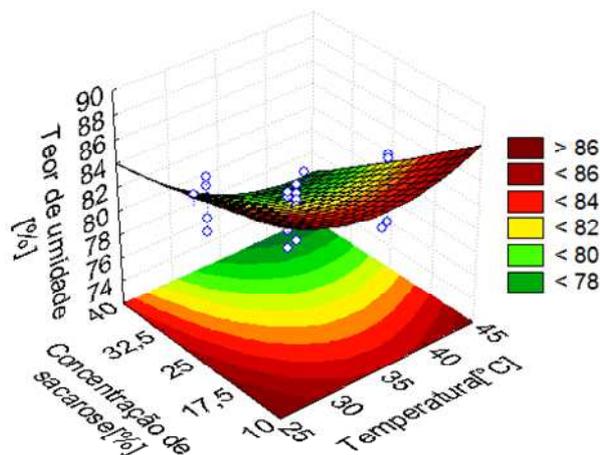


Figura 11 Superfície de resposta do teor de umidade em função da temperatura e concentração de sacarose para a PVOD de fatias de tomates

Foi possível observar uma tendência da redução do teor de umidade com aumento da concentração de sacarose.

A redução do valor de umidade de tomates desidratados osmoticamente para valores menores do que 90% pode proporcionar uma secagem mais rápida posteriormente, além de ser um indicativo da escolha adequada do tempo de imersão (DERMESONLOUOGLOU; POURGOURI; TAOUKIS, 2008; LEWICKI et al., 2002).

4.4.9 Ganho de sal

Na Tabela 27 são apresentados os valores e desvios padrões obtidos para a resposta do ganho de sal da PVOD de fatias de tomate. Os parâmetros com (*) são estatisticamente significativos considerando nível de significância de 5%.

Tabela 27 Valores e desvios padrões do ganho de sal da PVOD e fatias de tomates

Ensaio	T (°C)	Vácuo	[NaCl]	[Sacarose]	Ganho de sal
1	-1	-1	-1	-1	2,2290±0,1312
2	+1	-1	-1	-1	4,9035±0,3621
3	-1	+1	-1	-1	2,1826±0,3442
4	+1	+1	-1	-1	1,7257±0,0333
5	-1	-1	+1	-1	8,1271±1,0153
6	+1	-1	+1	-1	7,2033±0,3348
7	-1	+1	+1	-1	7,5144±0,1740
8	+1	+1	+1	-1	6,2760±0,4156
9	-1	-1	-1	+1	1,4282±0,0865
10	+1	-1	-1	+1	2,8888±0,3181
11	-1	+1	-1	+1	1,6663±0,0666
12	+1	+1	-1	+1	3,1030±0,0999
13	-1	-1	+1	+1	4,6428±0,2078
14	+1	-1	+1	+1	5,4426±0,4030
15	-1	+1	+1	+1	4,2310±0,1675
16	+1	+1	+1	+1	5,4563±0,3744
17	-2	0	0	0	2,3430±0,0661
18	+2	0	0	0	3,8147±0,0871
19	0	-2	0	0	3,1101±0,1821
20	0	+2	0	0	4,2976±0,0654
21	0	0	-2	0	0,4000±0,0670
22	0	0	+2	0	6,7045±0,1180
23	0	0	0	-2	3,7238±0,1844
24	0	0	0	+2	3,7221±0,1996
25	0	0	0	0	3,6330±0,2903
26	0	0	0	0	3,4797±0,2030
27	0	0	0	0	3,4875±0,1457
28	0	0	0	0	3,5094±0,1780

Onde: X_1 - Temperatura [°C]; X_2 – Pressão do pulso de vácuo [mbar]; X_3 - Concentração de cloreto de sódio; [%]; X_4 – Concentração de sacarose [%].

Foi possível verificar que os valores do ganho de sal variaram numa faixa de 0,4000 a 8,1271%, para as condições de 35°C, 75 mbar, 0% de NaCl e 25% de sacarose e 30°C, 56,25 mbar, 7,5% NaCl e 17,5% de sacarose, respectivamente. Sendo possível verificar que o menor ganho de sal foi obtido para a condição que apresentou ausência da concentração de cloreto de sódio. A faixa alcançada no experimento em questão foi maior do que a alcançada no experimento de Tonon, Baroni e Hubinger (2006) para a DO de tomates em soluções ternárias.

Telis, Murari e Yamashita (2004) verificaram que na DO de tomates o ganho de sal foi obtido quando foram utilizadas soluções com menores concentrações de sacarose, pois houve o aumento da difusividade do NaCl. O aumento do tempo de tratamento levou a menores difusividades de NaCl.

Qi et al. (1998) indicou que a mistura de sal / sacarose dificulta a formação de uma camada superficial compactada, o que limita a remoção de água, e também exibiram uma resistência à difusão do sal no tecido de cenoura devido à presença de açúcar. Lenart e Flink (1984) encontraram que a concentração de sal em amostras de batata foi mais baixa com uma mistura de 45% sacarose/15% de sal do que com uma solução a 15% de sal por si só.

A Tabela 28 apresenta os valores dos efeitos estimados para a resposta do teor de cloreto, juntamente com os parâmetros estatísticos erro padrão. Os valores marcados com asteriscos são significativos a um nível de significância de 5%.

Tabela 28 Efeitos estimados para a resposta ganho de sal

	Efeito	Erro padrão	t(3)	p
Média/interação	3,5277*	0,0357	98,7432	0,0000
X₁	0,6602*	0,0292	22,6355	0,0002
X₂	-0,1950*	0,0292	-6,6866	0,0068
X₃	3,4479*	0,0292	118,2003	0,0000
X₄	-0,9421*	0,0292	-32,2969	0,0001
X₁²	0,0421	0,0292	1,4440	0,2445
X₂²	0,3535*	0,0291	12,1469	0,0012
X₃²	0,2787*	0,0292	9,5557	0,0024
X₄²	0,3647*	0,0292	12,5012	0,0011
X₁X₂	-0,3805*	0,0357	-10,6509	0,0018
X₁X₃	-0,6564*	0,0357	-18,3750	0,0004
X₁X₄	0,6083*	0,0357	17,0289	0,0004
X₂X₃	0,1040	0,0357	2,9121	0,0619
X₂X₄	0,6028*	0,0357	16,8754	0,0005
X₃X₄	-0,9242*	0,0357	-25,8691	0,0001

Foi possível verificar que houve efeitos lineares positivos para a temperatura e concentração de cloreto de sódio, o que quer dizer que a passagem do nível inferior para o nível superior dessas variáveis, desencadeia o aumento do ganho de sal.

O efeito mais marcante foi da concentração de cloreto de sódio. Comportamento também verificado por Li et al. (2012), para tomates cerejas desidratados com ultrassom em soluções ternárias, que relacionaram o aumento do conteúdo de sal com o aumento da pressão osmótica. Esse comportamento também está de acordo com o obtido por Tonon, Baroni e Hubinger (2006) para tomates, e ainda verificaram que o aumento da temperatura também provocou um aumento na transferência de massa do NaCl, fato que, assim como no caso

da água. Isto provavelmente está relacionado ao aumento da permeabilidade da membrana celular e à redução da viscosidade da solução osmótica e que a única resistência apresentada ao transporte deste soluto é a resistência encontrada no interior do alimento.

O ganho de NaCl no fruto submetido ao processo de DO aumenta com o aumento da sua concentração na solução osmótica. Em baixas concentrações de NaCl na solução, e altas concentrações de sacarose essa penetra mais fácil na amostra por apresentar maior permeabilidade, já o NaCl em concentração elevada (11,25%) o ganho de sal diminui se a concentração de sacarose aumenta. Se a concentração de sacarose diminuir, aumenta a competição entre os solutos, e o NaCl por apresentar peso molecular menor, penetra mais facilmente do que a sacarose (MAYOR et al., 2007; TONON; BARONI; HUBINGER, 2007).

Por outro lado efeitos negativos lineares também foram verificados para a pressão do pulso de vácuo e concentração de sacarose, ou seja, a passagem do nível inferior para o superior dessas variáveis resulta na redução do ganho de sal. Comportamento que corrobora com o encontrado por Azoubel e Murr (2004) na DO de tomates cereja.

Tonon, Baroni e Hubinger (2007) verificaram na DO de tomates que a nível celular, o sal e o açúcar podem penetrar além da membrana celular, mas só o sal penetra além da membrana citoplasmática, enquanto a sacarose se acumula na superfície do citoplasma, formando uma camada que age como uma barreira para a transferência de água e sal. Assim, a utilização de uma solução ternária (água e sal), favorece a convecção forçada da transferência de água e sal, e limitada de sacarose (BOHUO et al., 1998).

Para obter um modelo estatístico que descreva o comportamento do teor de cloreto em diversas condições, foi necessário fazer a análise de variância do processo, cujos resultados são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 Análise de variância para a resposta do ganho de sal

Fonte	SQ	GL	QM	F _c	F _t
Regressão	89,6078	12	7,467313	9,832668	2,47
Resíduos	11,3916	15	0,75944		
Falta de ajuste	11,3763	12	0,94802		
Erro puro	0,0153	3	0,00511		R ² =0,8872
Total	100,9993	27			R ² _{ajustado} =0,7970

O modelo estatístico que representa a relação entre a variável temperatura, pressão do pulso de vácuo, concentração de cloreto de sódio e concentração de sacarose, para estimar o teor de cloreto, é apresentado na Equação 15:

$$G_{\text{sal}} = 3,52 + 0,33(X_1) + 0,02(X_1)^2 - 0,10(X_2) + 0,17(X_2)^2 + 1,72(X_3) + 0,14(X_3)^2 - 0,47(X_4) + 0,18(X_4)^2 - 0,20(X_1X_2) - 0,32(X_1X_3) + 0,30(X_1X_4) + 0,05(X_2X_3) + 0,30(X_2X_4) - 0,46(X_3X_4) \quad (15)$$

O modelo apresentado na equação 15 pode ser apresentado como preditivo, pois foi obtida uma relação $F_{\text{calculado}}/F_{\text{tabelado}}$ maior do que três e coeficiente de determinação de ajuste maior do que 0,70. Obtendo-se assim o gráfico de superfície de resposta descrito pelo modelo que representa a PVOD de fatias de tomate (Figura 12).

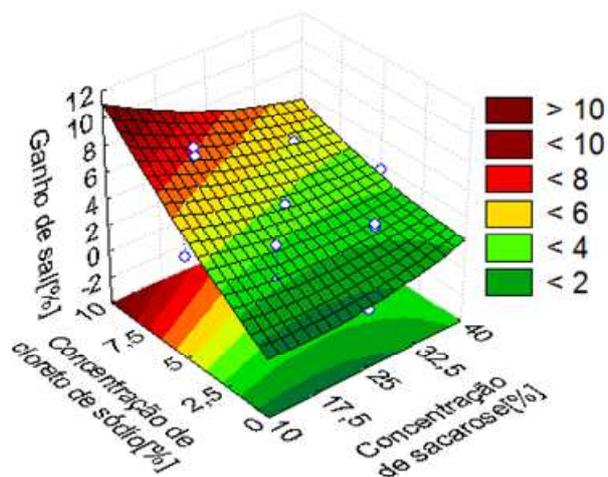


Figura 12 Superfície de resposta do ganho de sal em função da concentração de cloreto de sódio [%] e concentração de sacarose [%]

Foi possível verificar que o ganho de sal aumenta em função da concentração de cloreto de sódio e concentração de sacarose.

Tonon et al. (2007) verificaram que na DO de tomates em soluções ternárias que mesmo a diferença entre as quantidades de sal utilizadas em cada solução tenha sido pequena, o efeito causado sobre a penetração deste soluto no alimento é considerável, devido, principalmente, ao seu baixo peso molecular, que facilita seu transporte, além de deduzirem que a transferência de massa do cloreto de sódio no tomate, provavelmente, ser governada por um mecanismo predominantemente difusivo e que a única resistência apresentada ao transporte deste soluto é a resistência encontrada no interior do alimento (BOHUO et al., 1998).

4.4.10 Análise dos parâmetros de cor

A cor é um importante fator de qualidade. Medidas de cor têm sido utilizadas convenientemente para descrever a qualidade de produtos de tomate. Os parâmetros de cor foram definidos no DCCR da PVOD de fatias de tomates (Tabela 30).

Tabela 30 Valores obtidos e seus respectivos desvios médios dos parâmetros de cor obtidos na PVOD de fatias de tomates

Ensaio	L*	a*	b*	H _{ab}	C _{ab}	ΔE
1	41,50±1,16	11,16±0,72	13,03±0,85	49,41±0,08	17,16±0,94	3,20±0,98
2	41,08±1,11	12,67±1,14	13,00±1,02	45,75±0,03	18,16±1,43	2,56±0,67
3	38,77±1,10	14,25±1,30	16,92±1,23	49,90±0,02	22,12±1,74	4,27±1,10
4	39,20±2,08	10,91±1,25	11,45±0,86	46,40±0,03	15,82±1,46	5,47±0,70
5	40,71±0,95	13,25±0,94	13,32±0,98	45,14±0,04	18,78±1,16	2,46±0,53
6	39,06±2,43	16,98±1,08	14,57±1,36	40,63±0,04	22,38±1,52	4,93±1,77
7	42,33±1,17	12,52±0,66	11,80±0,86	43,30±0,03	17,20±0,99	3,33±0,86
8	37,42±0,55	14,42±0,60	16,07±0,91	48,08±0,04	21,60±0,80	5,28±0,60
9	39,24±1,42	13,30±1,42	12,38±0,77	42,95±0,05	18,17±1,53	4,18±1,25
10	38,17±1,31	12,73±1,68	13,01±0,80	45,62±0,07	18,20±1,73	4,82±1,04
11	41,20±1,30	14,11±1,70	14,10±1,58	44,98±0,05	19,95±2,18	1,70±1,47
12	43,37±1,64	15,40±4,31	14,66±2,27	43,60±0,08	21,26±4,74	2,13±1,80
13	43,69±1,22	14,70±1,06	14,10±1,11	43,81±0,07	20,37±1,28	1,91±0,60
14	44,18±1,11	17,00±3,80	18,52±1,46	47,45±0,07	25,14±3,72	5,25±2,35
15	43,58±1,63	17,30±1,62	16,95±1,78	44,41±0,04	24,22±1,90	4,43±1,81
16	41,60±1,64	13,16±1,57	15,95±1,38	50,47±0,07	20,68±1,78	1,36±1,36
17	43,36±0,99	12,20±2,00	13,29±1,45	47,45±0,05	18,05±2,38	2,28±1,28
18	43,45±1,16	13,08±1,17	17,17±1,44	52,70±0,05	21,60±1,47	2,41±0,82
19	42,23±0,91	12,91±1,32	14,81±0,86	48,92±0,17	19,65±1,40	0,65±0,78
20	44,60±1,27	12,20±1,35	14,01±0,86	48,98±0,10	18,57±1,44	2,64±0,60
21	45,60±1,74	12,65±4,32	13,64±1,42	47,15±0,06	18,61±3,73	3,46±2,20
22	45,73±1,00	13,81±1,43	14,73±1,25	46,84±0,03	20,19±1,10	3,25±0,71
23	41,60±1,02	13,54±1,07	13,35±1,27	44,58±0,10	19,01±1,36	1,87±0,83

"Tabela 30, conclusão"

Ensaio	L*	a*	b*	H _{ab}	C _{ab}	ΔE
24	43,71±1,64	13,85±0,95	13,25±0,65	43,73±0,05	19,17±1,03	2,14±0,63
25	43,36±1,10	13,24±1,92	13,10±0,98	44,67±0,05	18,62±1,75	2,08±1,06
26	43,11±1,68	13,13±0,88	13,47±1,10	45,71±0,05	18,81±1,13	1,66±1,06
27	43,33±1,08	12,51±1,18	13,17±0,34	46,47±0,08	18,16±1,01	2,21±0,71
28	42,90±1,42	12,58±1,37	13,16±0,91	46,28±0,04	18,21±1,48	2,06±0,82

Observou-se que o parâmetro L* variou de 45,73 a 38,17, para as condições 35°C; 75mbar; 0% de cloreto de sódio; 25% de sacarose e 40°C; 112,5mbar; 7,5% e 17,5%, respectivamente. Os valores obtidos foram maiores do que o valor do tomate *in natura* que foi de 42,50. Os valores obtidos situam-se dentro da faixa de valores obtidos por Ali et al. (2010) para a DO de tomates que foi de 29,60-47,23.

Maiores valores de L* representam a diminuição do grau de escurecimento, provavelmente devido a vários fatores: a desidratação osmótica provoca uma diminuição na atividade de polifenol oxidase responsável pelo escurecimento, o gradiente de concentração resulta em perda parcial dos pigmentos dos frutos (CHIRALT; TALENS, 2005). Adicionalmente amostras tratadas em PVOD podem apresentar aumento no valor de L*, sendo indicativo da redução do escurecimento enzimático, provavelmente devido o fato de este limitar o acesso ao oxigênio da parte interna dos tecidos através dos espaços intercelulares (CHAFER et al., 2003; KEJING et al., 2012). Aumento nos valores de L* também foi verificado por Vieira, Pereira e Hubinger (2012) na DO de goiabas, que relacionaram a impregnação de açúcar na superfície de goiabas desidratadas osmoticamente em solução de sacarose 60°Brix, 32°C e 20 min de aplicação de pulso de vácuo.

A redução dos valores de L*, significa maior translucidez do tecido celular originada pela saída do gás ocluso nos poros do tecido vegetal e posterior

penetração da solução osmótica em decorrência da aplicação do pulso de vácuo (VIEIRA, 2010).

O valor de a^* variou de 17,00 a 10,91, para as condições 40°C; 37,5mbar; 7,5% de cloreto de sódio; 32,5% de sacarose e 40°C; 112,5mbar; 2,5% de cloreto de sódio; 17,5% de sacarose, respectivamente. O valor máximo obtido foi maior do que o valor de a^* para a amostra *in natura* que foi de 13,47. O aumento no valor de a^* significa um aumento na coloração vermelha (BERBARI; ANJOS, 2011; KEJING et al., 2012). Comportamento que corrobora com os resultados obtidos por Dermesonlouoglou, Giannakourou e Taoukis (2007) para DO de tomates.

O valor de b^* variou de 17,17 a 11,45 para as condições 45°C; 75 mbar; 5% de cloreto de sódio; 25% de sacarose e 40°C, 112,5mbar; 2,5% de cloreto de sódio; 17,5% sacarose, respectivamente. O valor máximo foi maior do que o valor de b^* para a amostra *in natura* que foi de 14,98.

Aumento nos valores de a^* e b^* podem ser atribuídos à concentração da fase líquida e a presença de pigmentos presentes nos tecidos celulares como consequência da desidratação osmótica (HEREDIA et al., 2009).

O valor do ângulo Hue variou de 52,70° a 40,63° para as condições 56,25°C; 75mbar; 5% de cloreto de sódio; 25% de sacarose e 40°C; 45mbar; 7,5% de cloreto de sódio; 17,5% de sacarose, respectivamente. O valor máximo foi maior do que o valor obtido para a amostra *in natura* que foi de 48,03°. O aumento no valor do ângulo Hue indica a perda da cor vermelha (WIESE; DALMASSO, 1994).

O valor de C_{ab} variou de 25,14 a 15,82 para as condições 40°C; 37,5mbar; 7,5% de cloreto de sódio; 32,5% de sacarose e 40°C; 112,5mbar; 2,5% de cloreto de sódio; 17,5% de sacarose respectivamente. O valor máximo foi maior do que do tomate *in natura* que foi de 20,15. Valores maiores de C_{ab}

significa maior manutenção de carotenóides resultante do processo de DO (ARGADOÑA; NISHIYAMA; HUBINGER, 2002).

O valor de ΔE variou de 5,47 a 0,65 para as condições 40°C; 112,5mbar; 2,5% de cloreto de sódio; 17,5% de sacarose e 35°C; 37,5mbar; 5% de cloreto de sódio; 25% de sacarose, respectivamente. O valor máximo foi próximo do alcançado por Peña (1999) para secagem de tomates a 60°C no tempo de 350 min que foi próximo de 6.

Askari et al. (2009) verificaram maior diferença de cor nas amostras de tomates tratadas com solução osmótica contendo 40% de sacarose e 10% de sal, que foi notado pelo maior encolhimento da estrutura celular, resultante da maior concentração de cloreto de sódio.

Ao analisar os dados da Tabela 31 foi possível verificar os efeitos estimados para os parâmetros de cor da PVOD de fatias de tomates.

Tabela 31 Efeitos estimados para os parâmetros de cor na PVOD de fatias de tomates

Efeito	Fator	L*	a*	b*	H _{ab}	C _{ab}	ΔE
	Média/interc.	43,18*	12,90*	13,23*	45,80*	18,46*	2,01*
Linear	X ₁	-0,56*	0,37	1,03*	1,21*	1,03*	0,55*
	X ₂	0,38*	-0,10	0,36*	0,87	0,19	0,22
	X ₃	0,86*	1,43*	1,24*	-0,49	1,89*	0,02
	X ₄	1,60*	1,01*	0,78*	-0,59	1,26*	-0,43*
Quadrático	X ₁ ²	-0,83*	0,21	1,03*	1,54*	0,92*	0,58*
	X ₂ ²	-0,82*	0,16	0,62*	0,98	0,57*	0,23
	X ₃ ²	0,30*	0,50*	0,51*	0,01	0,71*	1,10*
	X ₄ ²	-1,20*	0,73*	0,07	-1,41*	0,56*	0,41*

“Tabela 31, conclusão”

Efeito	Fator	L*	a*	b*	H _{ab}	C _{ab}	ΔE
Interação	X ₁ X ₂	-0,20	-1,41*	-0,99*	0,98	-1,69*	-0,67*
	X ₁ X ₃	-1,14*	0,61*	1,66*	1,98*	1,65*	0,38*
	X ₁ X ₄	0,77*	-0,61*	0,57*	2,23*	-0,01	-0,45*
	X ₂ X ₃	-0,65*	-1,17*	-0,68*	1,02	-1,31*	0,12
	X ₂ X ₄	1,14*	0,53	0,17	-0,39	0,50*	-1,47*
	X ₃ X ₄	1,51*	-0,20	1,25*	2,91*	0,76*	-0,04

*Significância (p<0,05)

Foi possível observar em relação à temperatura efeito linear negativo para L*, assim como também efeitos positivos para b*, H_{ab}, C_{ab} e ΔE. Em relação à pressão do pulso de vácuo, efeitos lineares positivos para L*, b*. Em relação às concentrações de cloreto de sódio efeitos lineares positivos para L*, a*, b* e C. Em relação à concentração de sacarose, efeitos lineares positivos para b*, C_{ab}, H_{ab} e ΔE.

Mudanças no valor de L* e C_{ab} têm a ver com mudanças na transparência da amostra, como a ocorrência da absorção seletiva da solução em diferentes graus ao longo do processo osmótico (RINCON; KERR, 2010). Já o ângulo Hue muda ao longo do tempo dependente da concentração de sacarose.

O parâmetro H_{ab} define a coloração básica das amostras e representa a tonalidade média das amostras de tomates. Quanto maior o ângulo de cor Hue obtido significa que a cor do fruto está mais próxima do amarelo e quanto menor o ângulo, mais a cor se aproxima do vermelho (VIEIRA, 2005).

Heredia et al. (2009) verificaram que na DO de tomates cereja o efeito da temperatura do processo nas coordenadas a* e b*, foi dependente da composição da solução osmótica empregada. Em geral, mudanças nos valores de a* e b* aumentam com a temperatura do processamento realizada nesses tratamentos com a solução osmótica, incluindo sacarose nesta composição.

Quanto aos efeitos quadráticos em relação à temperatura foi verificado efeito negativo para L^* e positivo para b^* e C_{ab} e ΔE . Em relação à pressão do pulso de vácuo efeito negativo para L^* e efeito positivo para b^* e C_{ab} . Em relação à concentração de cloreto de sódio o efeito positivo para L^* , a^* , b^* , C_{ab} e ΔE . Em relação à concentração de sacarose o efeito negativo para L^* e H_{ab} e positivo para a^* , C_{ab} e ΔE .

Quanto às interações em relação à interação temperatura com pressão do pulso de vácuo efeito negativo para L^* , a^* , b^* , C_{ab} e ΔE . Em relação à interação temperatura e concentração de cloreto de sódio verificou-se efeito linear negativo para L^* e positivo para a^* , b^* , H_{ab} , C_{ab} e ΔE . Em relação à interação temperatura e concentração de sacarose efeito positivo para L^* , b^* e H_{ab} e negativo para a^* e ΔE . Efeito positivo para essa interação no valor de L^* foi verificada por Argadoña et al. (2002) na DO de melão.

Por outro lado, efeito contrário negativo no valor de L^* para essa interação foi observado por Heredia et al. (2009) na DO de tomates, que relacionaram esse comportamento ao aumento da opacidade resultante do encolhimento da sua estrutura devido à perda de água e o ganho de solutos durante o tratamento osmótico.

Em relação à interação pressão do pulso de vácuo e concentração de sacarose efeito negativo para L^* , a^* , b^* e C_{ab} . Em relação à interação pressão do pulso de vácuo e concentração de sacarose efeito positivo para L^* , C_{ab} e negativo para ΔE . Em relação à interação concentração de cloreto de sódio e concentração de sacarose efeito positivo para L^* , b^* , H_{ab} e C_{ab} .

Para obter um modelo estatístico que descreva o comportamento dos parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , C_{ab} , H_{ab} , ΔE em diversas condições propostas pelo planejamento composto central rotacional, foi necessário fazer a análise de variância do processo (Tabela 32).

Tabela 32 Análise de variância para as respostas parâmetros de cor L^* , a^* , b^* , C_{ab} , H_{ab} , ΔE

Variável	Fonte	SQ	GL	QM	F_c	F_t
L^*	Regressão	62,06	13	4,77	0,95	2,53
	Resíduos	70,02	14	5,00		
	Falta de ajuste	69,88	11			
	Erro puro	0,14	3			
	Total	132,08	27			$R^2=0,47$
a^*	Regressão	38,39	8	4,80	3,17	2,48
	Resíduos	28,73	19	1,51		
	Falta de ajuste	28,31	16			
	Erro puro	0,42	3			
	Total	67,12	27			$R^2=0,57$
b^*	Regressão	52,41	12	4,37	2,53	2,42
	Resíduos	25,93	15	1,73		
	Falta de ajuste	25,85	12	2,15		
	Erro puro	0,08	3	0,03		
	Total	78,33	27			$R^2=0,67$
C_{ab}	Regressão	76,01	11	6,91	2,39	2,45
	Resíduos	46,34	16	2,90		
	Falta de ajuste	46,04	13	3,54		
	Erro puro	0,30	3	0,10		
	Total	122,34	27			$R^2=0,62$

“Tabela 32, conclusão”

Variável	Fonte	SQ	GL	QM	F _c	F _t
H_{ab}	Regressão	113,5783	6	18,92972	5,371421	2,57
	Resíduos	74,0072	21	3,52415		
	Falta de ajuste	72,0522	18			
	Erro puro	1,9551	3			
	Total	187,5855	27			R ² =0,60
ΔE	Regressão	22,34	9	2,48	1,71	2,46
	Resíduos	26,11	18	1,45		
	Falta de ajuste	25,94	15	1,73		
	Erro puro	0,17	3	0,06		
	Total	48,45	27			R ² =0,46

Verificou-se que o $F_{\text{calculado}}$ de a^* , b^* e C_{ab} , foram maiores do que o F_{tabelado} , porém segundo Box e Wetz (1973) o $F_{\text{calculado}}$ deve ser aproximadamente 3 a 5 vezes maior do que o F_{tabelado} , para o modelo descrever com precisão os dados da desidratação osmótica com pulso de vácuo de tomates em fatias, além de possuírem coeficientes de determinação maiores do que 0,70 o que não foi alcançado para as condições estudadas, pois o modelo explicou menos do que 60% da variação dos dados observados. Sendo assim os dados podem ser considerados como tendenciosos e considerando-se os seus efeitos somente sem a geração dos modelos.

4.4.11 Teor de carotenóides

Na Tabela 33 são apresentados os valores e desvios padrões obtidos para os teores de carotenóides.

Tabela 33 Valores obtidos e seus respectivos desvios padrões dos teores de carotenóides (licopeno e β caroteno (mg/100g)) de fatias de tomates

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Teor de licopeno	β -caroteno
1	-1	-1	-1	-1	65,70±0,27	10,69±0,00
2	+1	-1	-1	-1	42,08±0,15	7,01±0,01
3	-1	+1	-1	-1	49,56±0,40	13,50±0,03
4	+1	+1	-1	-1	38,90±0,28	6,87±0,01
5	-1	-1	+1	-1	36,85±0,10	5,77±0,02
6	+1	-1	+1	-1	56,81±0,06	6,76±0,01
7	-1	+1	+1	-1	52,40±0,15	5,51±0,00
8	+1	+1	+1	-1	27,87±0,38	16,24±0,20
9	-1	-1	-1	+1	33,11±0,10	5,49±0,01
10	+1	-1	-1	+1	42,11±0,14	5,39±0,00
11	-1	+1	-1	+1	43,79±0,20	7,34±0,01
12	+1	+1	-1	+1	36,80±0,26	4,27±0,01
13	-1	-1	+1	+1	59,10±0,27	7,89±0,04
14	+1	-1	+1	+1	56,89±0,50	3,18±0,04
15	-1	+1	+1	+1	56,25±0,21	7,81±0,00
16	+1	+1	+1	+1	50,15±0,07	7,25±0,00
17	-2	0	0	0	49,26±0,05	12,88±0,00
18	+2	0	0	0	50,15±0,00	7,25±0,00
19	0	-2	0	0	20,64±0,26	2,80±0,00
20	0	+2	0	0	20,98±0,12	2,81±0,00
21	0	0	-2	0	50,58±0,10	9,98±0,00
22	0	0	+2	0	21,94±0,15	7,21±0,01
23	0	0	0	-2	28,96±0,11	7,67±0,01
24	0	0	0	+2	29,40±0,48	6,96±0,01
25	0	0	0	0	22,27±0,08	7,09±0,00
26	0	0	0	0	22,97±0,20	4,20±0,00
27	0	0	0	0	35,50±0,13	7,53±0,02
28	0	0	0	0	21,60±0,18	4,15±0,00

Verificou-se que o valor máximo obtido para o teor de licopeno foi de 65,70mg/100g para a condição 30°C, 37,5mbar, 2,5% de cloreto de sódio e 17,5% de sacarose. Heredia et al. (2009) também verificaram maiores conteúdos de licopeno em tomates quando desidratados à 30°C em soluções ternárias. O valor mínimo foi de 20,64mg/100g para a condição 35°C, 37,5mbar, 5% de cloreto de sódio e 25% de sacarose.

Segundo Sharma e Le Maguer (1996) a casca do tomate é uma fonte rica de licopeno. Ela contém cerca de cinco vezes mais licopeno (53,9mg/100g) do que a polpa de tomate integral (11mg/100g), indicando que a maior parte do licopeno é encontrada ligada à porção de fibra insolúvel dos tomates. Destaca-se que no experimento em estudo a casca do tomate foi mantida nas fatias, a fim de preservar uma quantidade maior de licopeno no produto final.

Para a variável β -caroteno o valor máximo obtido foi de 16,24mg/100g - para a condição 40°C, 112,5mbar, 7,5% de cloreto de sódio e 17,5 de sacarose.

A Tabela 34 apresenta os valores dos efeitos estimados para a resposta do teor de licopeno, juntamente com os parâmetros estatísticos erro padrão.

Tabela 34 Efeitos estimados para o teor de carotenóides (teor de licopeno e β -caroteno)

	Fator	Efeito	
		Licopeno	β -caroteno
	Média/interação	25,5850*	5,7461*
Linear (L)	X ₁	-3,6142	-1,5237
	X ₂	16,3215	1,3857
	X ₃	-3,0208	-0,4752
	X ₄	1,8740	-2,0937*
Quadrático (Q)	X ₁ ²	-1,0842*	2,2844*
	X ₂ ²	9,5990	-1,3444
	X ₃ ²	0,7425*	1,5464
	X ₄ ²	6,0590	0,9074
Interação	X ₁ X ₂	-6,4263	0,9971
	X ₁ X ₃	2,4238	2,4923*
	X ₁ X ₄	4,0688	-1,2325
	X ₂ X ₃	-1,1288	1,2254
	X ₂ X ₄	3,5613	-0,8927
	X ₃ X ₄	11,1113*	0,9272

*Significância (p<0,05)

Analisando os dados da Tabela 34 foi possível verificar que os efeitos lineares significativos ($p < 0,05$) para a variável licopeno, foram negativos e ocorreram para a variável temperatura e pressão do pulso de vácuo, que significa dizer que a passagem do nível inferior dessas variáveis para um nível superior desencadeia a redução do teor de licopeno nas fatias de tomate submetidas à PVOD. Adicionalmente a temperatura apresentou o maior efeito em comparação a pressão do pulso de vácuo. A influência da utilização de temperaturas moderadas (30 e 40°C) também foi verificada por Heredia et al. (2009) para DO de tomates cereja no conteúdo de carotenóides.

Este efeito pode ser atribuído ao fato de que a 30°C e 40°C se encontram na faixa ótima de temperatura para a melhor manutenção de licopeno, que é de 12°C a 37°C (SHI; MAGUER; BRYAN, 2002).

Efeito linear negativo também foi verificado para a variável β -caroteno em relação à concentração de cloreto de sódio, sendo esta variável a que apresentou a maior influência linear para o teor de β -caroteno.

Quanto aos efeitos quadráticos todas as variáveis estudadas apresentaram efeitos positivos para o teor de licopeno, enquanto somente o efeito quadrático para a temperatura para o teor de β -caroteno foi influente.

Efeitos relacionados às interações também foram verificados tanto para o teor de licopeno quanto para o teor de β -caroteno. Efeitos positivos foram observados para a interação temperatura e concentração de cloreto de sódio tanto para licopeno quanto para β -caroteno, e no mais os efeitos temperatura e concentração de sacarose; pressão do pulso de vácuo e concentração de sacarose e concentração de cloreto de sódio e concentração de foram observados para o teor de licopeno, sendo o maior efeito apresentado em relação à interação de concentração de cloreto de sódio com concentração de sacarose.

Para obter um modelo estatístico que descreva o comportamento do teor de licopeno em diversas condições, foi necessário fazer a análise de variância do processo, cujos resultados são apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 Análise de variância para a resposta parâmetro do teor de carotenóides (licopeno e β -caroteno)

Variável	Fonte	SQ	GL	QM	F _c	F _t
Licopeno	Regressão	3123,925	11	283,9932	2,1966	2,00
	Resíduos	2068,538	16	129,284		
	Falta de ajuste	2059,827	13			
	Erro puro	8,711	3			
	Total	5192,463	27			
β-caroteno	Regressão	99,225	4	24,80617	3,3826	2,20
	Resíduos	168,6655	23	7,33328		
	Falta de ajuste	158,7615	20	7,93808	2,40452	
	Erro puro	9,9039	3	3,30131		
	Total	267,8901	27			

Na Tabela 35 pode-se verificar que as condições ambos os $F_{\text{calculados}}$ foram maiores do que o F_{tabelado} , porém segundo Box e Wetz (1973), para ser considerado preditivo o $F_{\text{calculado}}$ deve ser de 3 a 5 vezes maior do que o F_{tabelado} , além de apresentar coeficiente de determinação maior do que 0,70. Sendo assim o modelo gerado não pode ser considerado preditivo, apenas tendencioso, considerou-se apenas os efeitos existentes.

A condição ótima foi obtida depois da validação do modelo proposto para o máximo de PA, GS, RP e ganho de sal, mínimo de atividade de água, teor de umidade 40°C/56,25mbar/7,5% [cloreto] e 32,5% [sacarose], resultando em 42,22% de PA, 4,00% de GS, 36,06% de RP, 0,948 de a_w , 76,458% de teor de umidade. Essa condição ótima foi utilizada para realização da cinética comparando o processo com PVOD e DO.

4.5 Cinética de PA, GS

Pela figura 13 foi possível verificar que o comportamento de perda de água em experimentos de DO esteve próximo ao comportamento observado em curva de PVOD, porém, no tempo final de 300 min, o valor de PA foi maior para a PVOD. Esse comportamento também foi verificado por Yadav, Yadav e Jatani (2012) para DO de fatias de maçãs.

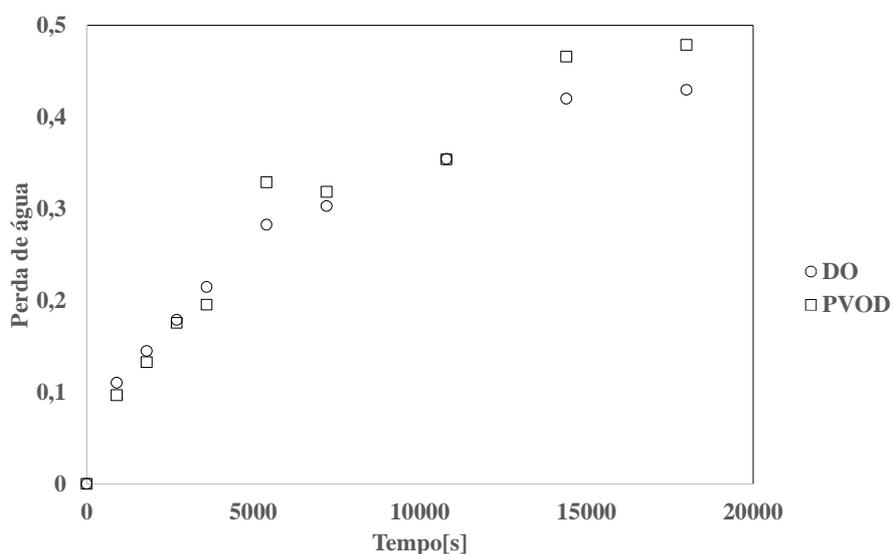


Figura 13 Cinética da perda de água (PA) para PVOD e DO

Para as médias do processo de DO e PVOD não foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) (Tabela 9-Apêndice A).

A ausência da influência do pulso de vácuo na condição de 45°Brix, 20°C e 100 mbar na cinética da perda de água também foi verificada por Ito et al. (2007) para fatias de manga. Comportamento diferente foi observado por Martínez-Valencia et al. (2011), os quais observaram diferença significativa na perda de água quando o pulso de vácuo foi aplicado em melões. Porém os

autores utilizaram uma pressão de vácuo bem maior (600mbar), além de que as características dos frutos se diferenciam quanto à porosidade, de modo que a difusão de sacarose também diminuiu (CHIRALT; TALENS, 2005).

De acordo Mújica-Paz et al. (2003), não é recomendável aplicar níveis elevados de pressão de vácuo, assim como longos tempos, pois isso causaria uma deformação irreversível no tecido da fruta, levando a uma redução da porosidade e diminuindo o volume livre disponível para a impregnação.

O comportamento do ganho de sólidos (Figura 14) da DO e PVOD estiveram próximos até os primeiros 100 min, porém a partir desse tempo o ganho de sólidos da PVOD foi maior. Não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores das médias obtidas para a DO e PVOD, porém o tempo influenciou ambos os valores. Sendo que após os 230 minutos de DO, houve uma inversão de comportamento e o ganho de sólidos na DO apresentou-se bem menor, principalmente ao alcançar o tempo dos 300 minutos.

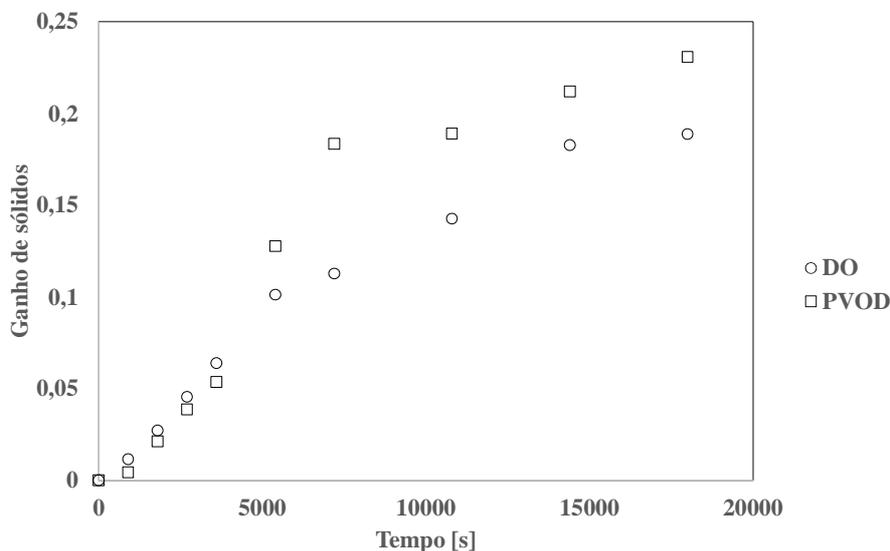


Figura 14 Cinética do ganho de sólidos para PVOD e DO

A transferência de massa foi importante durante todo o período de desidratação (120 min), mas a taxa do ganho de sólidos foi maior no início (durante as primeiras horas). Comportamento similar foi reportado por outros autores empregando soluções de glicose como agente osmótico (SALVATORI; ALZAMORA, 2000).

A influência da intensidade do pulso de vácuo no ganho de sólidos depende principalmente da estrutura do material e suas propriedades mecânicas (ITO et al., 2007). Além disso, a presença do pulso de vácuo causa um aumento da degaseificação da amostra, permitindo uma maior penetração da solução externa na estrutura porosa do alimento, este comportamento pode ser atribuído às características biológicas dos tecidos vegetais (FERRARI et al., 2011; CORRÊA et al., 2010).

Adicionalmente os valores obtidos para o ganho de sólidos ao longo do tempo foram bem menores do que os valores obtidos para a perda de água, sendo este resultado muito importante, já que, o objetivo da desidratação osmótica é alcançar máximo de perda de água com o mínimo de ganho de sólidos (SILVA et al., 2010).

Não foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) para as médias dos valores de redução de peso da DO e PVOD pelo teste t.

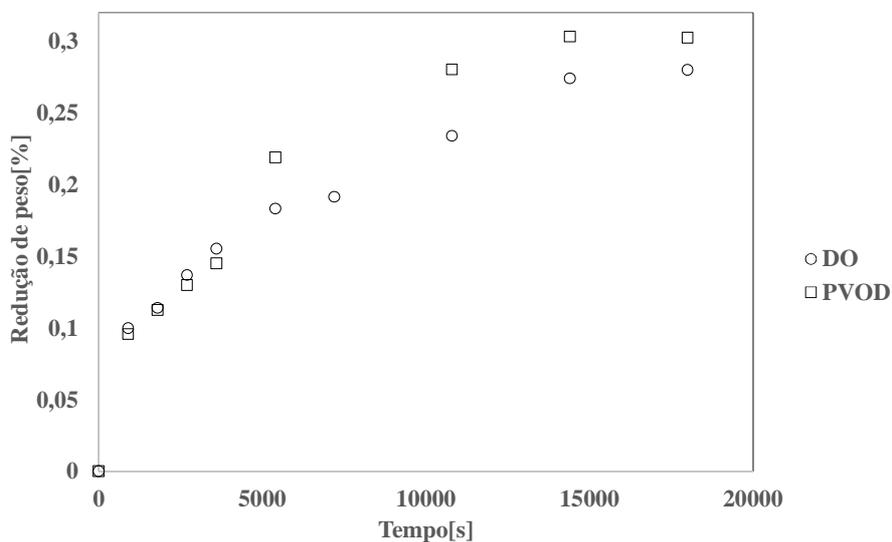


Figura 15 Cinética para a redução de peso (RP)

Foram observadas diferenças significativas dos valores da DO e PVOD em relação ao tempo, ou seja, a variação tanto para a DO quanto para a PVOD foi significativa ao longo do tempo.

4.6 Cinética de encolhimento

O estudo do fenômeno de encolhimento de materiais biológicos durante o processo de desidratação é extremamente importante, uma vez que tal fenômeno interfere de maneira decisiva na difusividade de água através do alimento (WANG; BRENNAN, 1995).

A influência do tempo nos valores de encolhimento (Figura 16) tanto para a PVOD quanto para a DO foi significativa ao nível de 5%. Além de ser verificada diferença significativa dos valores das médias pelo teste-t entre a PVOD e a DO.

A PVOD proporcionou maior encolhimento da amostra no decorrer do tempo. Nos primeiros 90 minutos tanto para DO quanto para PVOD (Figura 19). A redução do volume da amostra em relação ao volume inicial também foi verificada por Atares, Chiralt e Gonzalez-Martinez (2008) para a desidratação osmótica com impregnação à vácuo de cilindros de maçãs, os quais relacionaram esse comportamento com a deformação da matriz do sólido resultante do gradiente de pressão imposto no sistema durante o pulso de vácuo.

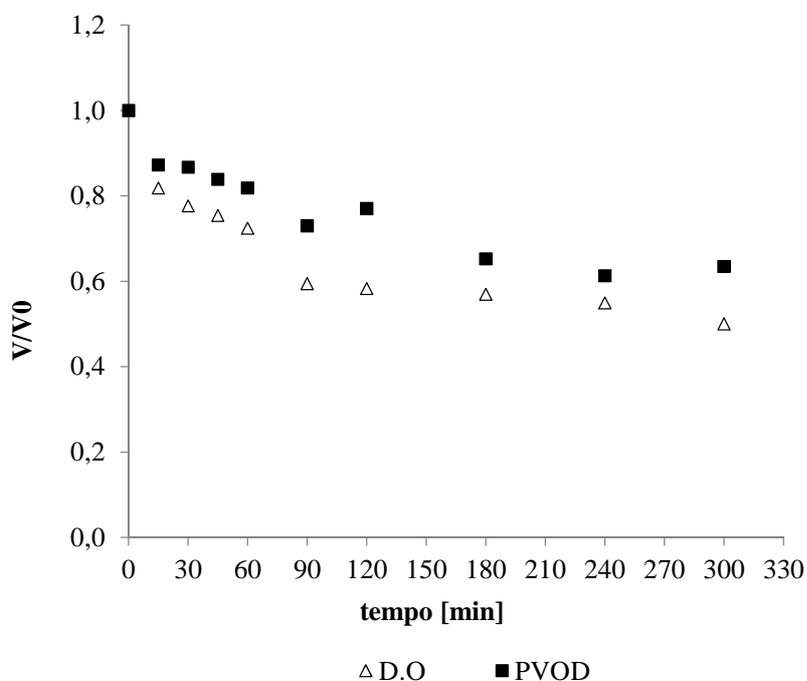


Figura 16 Cinética do encolhimento PVOD de fatias de tomate

Mudanças de volume durante a DO são muitas vezes devido a mudanças na composição e estresse mecânico associado com o fluxo de massa. Essas mudanças tem sido analisadas como variação no volume das fases sólidas,

líquidas e gasosas do fruto durante o processo por Barat et al. (2001), e tem sido correlacionado com mudanças no conteúdo de umidade e redução de peso por Ferrari et al. (2011), ou com perda de água por Fanta et al. (2013) e Giovanelli et al. (2012). O encolhimento volumétrico durante a DO tem sido reportada para outros frutos como abóbora por Mayor, Pissara e Sereno (2008), maçã por Lewicki, Porzecka-Pawlak (2005) e tomates por Souza et al. (2007) e por Bui et al. (2009).

A variação das mudanças no volume pode ser similar às mudanças de massa e pequenas diferenças podem ser explicadas pela diferença na densidade dos componentes transferidos (água e açúcar) e o desenvolvimento da fase gasosa do volume ou porosidade do fruto que pode mudar em função do tempo e o pulso de vácuo pode reduzir a fração gasosa (GIRALDO et al., 2003).

No início do processo, a perda de água implica na redução do volume celular e assim, o colapso parcial pode induzir a perda de gás dos espaços intercelulares e com o tempo a solução externa penetra nos poros próximos à superfície da amostra. Tudo isso sugere a redução no volume das fases gasosas e líquidas do produto, implicando em mudanças na porosidade do produto (FITO et al., 2002).

Desenvolvimento da porosidade das amostras através dos tratamentos osmóticos (DO e PVOD) com soluções de sacarose de concentrações diferentes tem apresentado diferenças significativas, comparado com as obtidas nos tratamentos de DO, devido a mudanças estruturais induzidas pelo pulso de vácuo que altera as propriedades da transferência de massa dos tecidos, a captação de soluto e favorece a redução da taxa de perda de água. A troca de gás-líquido nos poros durante a operação de impregnação a vácuo promove mecanismos de difusão desta fração de volume responsável pelo ganho de sólidos e concentração da amostra com pequena perda de água (FITO et al., 2002).

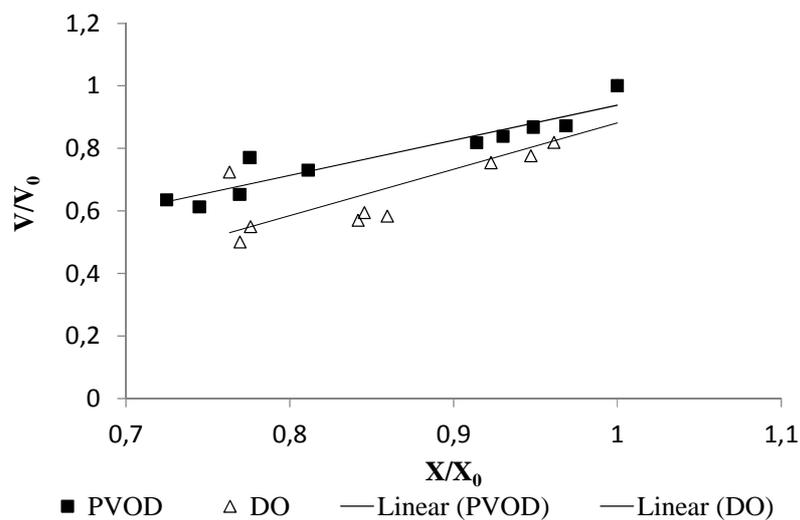


Figura 17 Razão do encolhimento em função da umidade em base úmida

Mavroudis et al. (1998) durante a DO de maçãs (var. *Granny Smith*) com solução de sacarose observaram redução linear de volume com a redução da água do fruto. A remoção de água pode promover o colapso, como as forças capilares causando a remoção de água e perda da pressão de turgor da célula (PROTHON et al., 2001).

Moreira e Sereno (2003) durante a DO de maçãs com soluções de sacarose verificaram que a relação linear entre a redução de peso e o encolhimento independente da concentração da solução, temperatura e condições hidrodinâmicas da solução osmóticas.

Os resultados sobre o encolhimento volumérico indicam que podem ser facilmente estimados das mudanças no conteúdo de umidade da amostra (MOREIRA; SERENO, 2003).

4.7 Cinética de atividade de água

Foi possível verificar que para a atividade de água foram verificadas diferenças significativas dos valores tanto para a DO quanto para a PVOD quando se comparou suas médias através do teste-t, verificando também redução em relação ao tempo (Figura 17), obtendo coeficientes de determinação 0,995 para DO e 0,994 para PVOD. Comportamento também verificado por Silva, Corrêa e Silva (2010) indicando a interatividade dos efeitos (atividade de água e perda de água) no fenômeno de transferência de massa (CORRÊA et al., 2010).

Adicionalmente, soluções ternárias limitam a captação de solutos e aumenta a perda de água comparada com a solução binária. O tamanho maior das moléculas de sacarose em comparação com o cloreto de sódio pode impedir sua entrada na célula podendo reduzir a atividade de água da solução, promovendo o fluxo de água (HEREDIA; BARRERA; ANDRES, 2007).

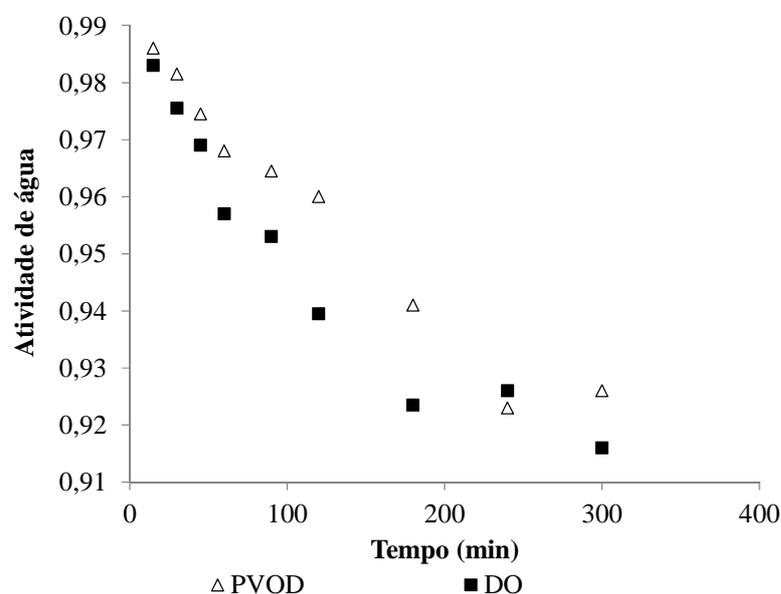


Figura 18 Cinética da atividade de água

O processo de DO proporcionou os menores valores de atividade de água, ao longo dos 300 minutos de DO. Observando-se que a maior inclinação da curva ocorreu nos primeiros 200 minutos de DO.

A atividade de água é diferente do teor de umidade que mede a disponibilidade de água livre no sistema dos alimentos que é responsável por várias reações bioquímicas, entretanto o conteúdo de umidade representa a composição de água dos alimentos. Alta atividade de água indica maior disponibilidade de água livre para as reações bioquímicas e assim, vida curta de prateleira (QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007).

4.8 Difusividade efetiva

O ajuste dos dados experimentais aos modelos matemáticos foi realizado a fim de se tentar prever a cinética de desidratação osmótica de fatias de

tomate em soluções de sacarose e sal, obtendo, com isso, parâmetros importantes do ponto de vista de processo, tais como a difusividade efetiva de água e do sólido.

Considerando que a amostra possui uma geometria de placa plana infinita, os modelos de FITO e FICK foram usados para determinar alguns parâmetros, através de um ajuste não-linear aos dados experimentais.

A Tabela 36 apresenta os valores de difusividade efetiva de ajuste obtidos pelos modelos de FITO e FICK, na desidratação osmótica de fatias de tomates.

Tabela 36 Parâmetros de ajustes obtidos pelos modelos de Fito e Fick para DO e PVOD

Modelo	Tratamento	$D_{eff}[m^2/s]$	R^2	SE
Fito	DO	$5,67 \times 10^{-11}$	0,96	0,37
	PVOD	$8,25 \times 10^{-11}$	0,90	0,37
Fick	DO _w	$3,19 \times 10^{-10}$	0,96	0,37
	DO _s	$9,20 \times 10^{-11}$	0,96	0,36
	PVOD _w	$3,48 \times 10^{-10}$	0,92	0,35
	PVOD _s	$1,03 \times 10^{-10}$	0,90	0,34

Telis, Murari e Yamashita (2004), utilizando os mesmos solutos em soluções ternárias para a desidratação osmótica de quartos de tomates, obtiveram difusividades na ordem de $10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, que corresponde à ordem obtida para o processo de DO de fatias de tomates, comportamento que corrobora com o obtido por Porciuncula et al. (2013) na DO de banana. Foi possível observar também que a difusividade no processo de PVOD foi maior do que no processo de DO.

De acordo com Azoubel e Murr (2004), uma comparação dos valores de difusividade apresentados na literatura é difícil devido os diferentes métodos de estimação e modelos empregados, e também por causa da variação da composição dos alimentos e estruturas físicas.

Durante o processo o gradiente osmótico de umidade desenvolvido não é uniforme e a difusividade efetiva não é constante, isto é, varia com a posição no interior da amostra e o tempo de desidratação (RASTOGI et al., 2002, MERCALI et al., 2011). A difusividade efetiva para alimentos desidratados varia na faixa de 10^{-8} a 10^{-12} m²/s devido aos procedimentos experimentais usados para determinar a difusividade da umidade, composição, fisiologia dos alimentos e também os métodos de tratamento (CORZO et al., 2007).

Porciuncula et al. (2013) observaram valores mais baixos dos coeficientes de difusão com a diminuição do conteúdo de umidade das amostras, que relacionaram a incorporação de sólidos (sacarose) e, possivelmente a desnaturação das paredes celulares por temperaturas relativamente elevadas. Este conjunto de fatores que podem causar uma redução do volume do fruto. É bem sabido que o fenômeno de encolhimento e a plasmólise das células de tecido de fruta diminuem o coeficiente de difusão efetivo.

Singh et al. (2007) investigaram a desidratação de cubos de cenoura em solução ternária (água / sacarose / NaCl). Eles relataram que, durante o processo de DO foi observado uma diminuição do coeficiente de difusão da água das amostras, diminuição do teor de umidade e ao aumento do teor de sólidos. Apesar destas observações, os autores assumiram um valor médio do coeficiente de difusão para representar a transferência de massa.

Além das alterações no teor de umidade, o estado da membrana celular pode alterar parcialmente a parte permeável e à completamente permeável, causando alterações significativas na estrutura do tecido. A causa mais provável de lesão celular pode ser atribuída à redução do tamanho das células, causada

pela perda de água durante a DO (RASTOGI; RAGHAVARAO, 2004). Estas alterações celulares podem modificar o caminho de água durante a desidratação e, como consequência, alterar o valor do coeficiente de difusão efetivo.

5 CONCLUSÃO

A temperatura da solução osmótica, a pressão do pulso de vácuo, a concentração de cloreto de sódio e de sacarose apresentaram efeitos significativos ($p < 0,05$) na perda de água, redução de peso, atividade de água, teor de umidade, ganho de sal, parâmetros de cor e teores de carotenóides na desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomate.

A metodologia de superfície de resposta foi satisfatoriamente empregada para a otimização. As condições ótimas para o máximo de perda de água, ganho de sólidos, redução de peso e mínimo de atividade de água e teor de umidade foram identificadas. Este estudo indicou que as condições ótimas para a PVOD de fatias de tomate foram $40^{\circ}\text{C}/56,25\text{mbar}/7,5\%[\text{cloreto}]$ e $32,5\%[\text{sacarose}]$, resultando em 42,22% de PA, 4,00% de GS, 36,06% de RP, 0,948 de a_w , 76,458% de teor de umidade.

Através da cinética resultante da condição ótima para PA, GS, RP, atividade de água e encolhimento foi possível verificar que o tempo do processo de desidratação influenciou significativamente as respostas tanto para o processo de DO, quanto para o processo de PVOD.

Foi possível obter os valores de difusividade efetiva para a condição ótima com bons coeficientes de determinação através dos modelos de Fito (DO: $5,67 \times 10^{-11}$ e PVOD: $8,25 \times 10^{-11}$) e Fick ($\text{DO}_w: 3,19 \times 10^{-10}$; $\text{DO}_s: 9,20 \times 10^{-11}$; $\text{PVOD}_w: 3,48 \times 10^{-10}$; $\text{PVOD}_s: 1,03 \times 10^{-10}$), permitindo verificar que o processo de PVOD de fatias de tomates contribuiu no aumento da difusividade efetiva em comparação com o processo de DO.

REFERÊNCIAS

ABUD-ARCHILA, M., et al. Optimization of osmotic dehydration of yam bean (*Pachyrhizus erosus*) using an orthogonal experimental design. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 3, p. 413-419, fev. 2008.

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

AL-HARAHSEH, M.; AL-MUHTASEB, A. H.; MAGEE, T. R. A. Chemical Engineering and Processing □: Process Intensification Microwave drying kinetics of tomato pomace □: Effect of osmotic dehydration. **Chemical Engineering and Processing**, v. 48, p. 524-531, 2009.

ALI, H. S., et al. Osmotic Dehydration of Banana Rings and Tomato Halves. **Journal of American Science**, v. 6, n. 9, p. 383-390, 2010.

AL-MUHTASEB, A. H., et al. Drying characteristics and quality change of unutilized-protein rich-tomato pomace with and without osmotic pre-treatment. **Industrial Crops and Products**, v. 31, n. 1, p. 171-177, jan. 2010.

ALVACHIAN, S., et al. Desidratação Osmótica do Jenipapo (*Genipa americana* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 276-281, 2003.

ALVES, D. G., et al. Osmotic dehydration of acerola fruit (*Malpighia punicifolia* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 1, p. 99-103, maio 2005.

ANDREUCETTI, C., et al. Caracterização da comercialização de tomate de mesa na CEAGESP: perfil dos atacadistas. **Horticultura Brasileira** 23, p. 324-328, 2005.

ANTONIO, G. C., et al. Influence of osmotic dehydration and high temperature short time processes on dried sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.). **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 3, p. 375-382, fev. 2008.

ANTONIO, G. C.; AZOUBEL, P. M., et al. Osmotic dehydration of sweet potato (*Ipomoea batatas*) in ternary solutions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 696-701, set. 2008.

ANTONIO, G. C., et al. Otimização da desidratação osmótica de batata doce (*Ipomoea batatas*) utilizando metodologia de superfície de resposta. **Brazilian Journal of Food Technology**, 9(2), p. 135-141, 2006.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods and recommended practices of the American oil chemist's society**, Washington, D.C: . Feistane, 1995.

ARGADOÑA, E. J. S.; NISHIYAMA, C.; HUBINGER, M. D. Qualidade final de melão osmoticamente desidratado em soluções Material e Métodos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1803-1810, 2002.

ASKARI, G. R.; EMAM-DJOMEH, Z.; TAHMASBI, M. Color of tomato halves. **Journal of Texture Studies**, v. 40, p. 371-389, 2009.

ATARES, L.; CHIRALT, A; GONZALEZ-MARTINEZ, C. Effect of solute on osmotic dehydration and rehydration of vacuum impregnated apple cylinders (cv. Granny Smith). **Journal of Food Engineering**, v. 89, n. 1, p. 49-56, nov. 2008.

AZOUBEL, P. M.; DA SILVA, F. O. Optimisation of osmotic dehydration of "Tommy Atkins" mango fruit. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 43, n. 7, p. 1276-1280, jul. 2008.

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

BADWAIK, L. S., et al. Optimization of Osmotic Dehydration Process of Bamboo Shoots in Mixtures of Sucrose and Sodium Chloride Solutions. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 37, n. 6, p. 1068-1077, 15 dez. 2013.

BARAT, J. M.; CHIRALT, A.; FITO, P. Effect of osmotic solution concentration, temperature and vacuum impregnation Pretreatment on Osmotic Dehydration Kinetics of Apple Slices. **Food Science & Technology International**, v. 7, n. 5, p. 451-456, out. 2001.

BARRERA, C., et al. Effect of osmotic dehydration on the stabilization of calcium-fortified apple slices (var. Granny Smith): Influence of operating variables on process kinetics and compositional changes. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 4, p. 416-424, jun. 2009.

BELCHIOR, M.; BRASILEIRO, I. Levantamento sistemático da produção agrícola. **Coordenação de Agropecuária do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**,[S.l.]: IBGE, 2012.

BERBARI, S. A. G.; ANJOS, V. D. Desidratação osmótica de pêssegos em função da temperatura e concentração do xarope de sacarose. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 19, p. 161-169, 2011.

BLANDA, G., et al. Effect of vacuum impregnation on the phenolic content of Granny Smith and Stark Delicious frozen apple cvv. **European Food Research and Technology**, v. 226, n. 5, p. 1229-1237, abr. 2007.

BOHUO, P.; COLLIGNAN, A.; RIOS, G. M. Soaking Process in Ternary Liquids: Experimental Study of Mass Transport Under Natural and Forced Convection. **Journal of Food Engineering**, v. 37, p. 451-469, 1998.

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**, v. 2007, n. 1754, p. 39-50, 2008.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function. **University of Wisconsin Technical Report**, n. 9, 1973.

BUCHWEITZ, P. R. **Avaliação da pré-secagem osmótica de kiwi (actinidia deliciosa) complementada por processos convencionais**. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005.

BUI, H.-T.; MAKHLOUF, J.; RATTI, C. Osmotic dehydration of tomato in sucrose solutions: Fick's law classical modeling. **Journal of food science**, v. 74, n. 5, p. E250-8, jun. 2009.

CASTELLO, M., et al. Influence of osmotic dehydration on texture, respiration and microbial stability of apple slices (Var. Granny Smith). **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 1, p. 1-9, mar. 2009.

CASTRO-GIRÁLDEZ, M.; FITO, P. J.; FITO, P. Nonlinear thermodynamic approach to analyze long time osmotic dehydration of parenchymatic apple tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 102, n. 1, p. 34-42, jan. 2011.

CHAFER, M., et al. Effect of Blanching and Vacuum Pulse Application on Osmotic Dehydration of Pear. **Food Science and Technology International**, 2003.

CHANG, M.; HAN, M.; KIM, M. Effects of Salt Addition in Sugar Based Osmotic Dehydration on Mass Transfer and Browning Reaction of Green Pumpkin. **Agric. Chem. Biotechnol.**, v. 46, n. 3, p. 92-96, 2003.

CHENLO, F., et al. Viscosities of aqueous solutions of sucrose and sodium chloride of interest in osmotic dehydration processes. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 4, p. 347-352, out. 2002.

CHENLO, F. et al. Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 2, p. 164-173, mar. 2006.

CHIRALT, A.; TALENS, P. Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. **Journal of Food Engineering**, v. 67, n. 1-2, p. 167-177, mar. 2005.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. p. 783.

CORRÊA, J. L. G., et al. Analysis of osmotic dehydration variables: influences on tomato (*Lycopersicon esculentum*) drying. **B. CEPPA**, v. 25, n. 2, p. 315-328, 2007.

CORRÊA, J. L. G., et al. Desidratação osmótica de tomate seguida de secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 35-42, 2008.

CORRÊA, J. L. G., et al. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 4, p. 498-504, fev. 2010.

CORZO, O.; BRACHO, N. Determination of water effective diffusion coefficient of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 8, p. 1452-1458, out. 2007.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975. 414 p.

CRUZ, R. M. S.; VIEIRA, M. C.; SILVA, C. L. M. The response of watercress (*Nasturtium officinale*) to vacuum impregnation: Effect of an antifreeze protein type I. **Journal of Food Engineering**, v. 95, n. 2, p. 339-345, nov. 2009.

DALBEN, C., et al. Effect of process variables on the osmotic dehydration of star-fruit slices. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas. v. 32, n. 2, p. 357-365, 2012.

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

DENG, Y.; ZHAO, Y. Effects of pulsed-vacuum and ultrasound on the osmodehydration kinetics and microstructure of apples (Fuji). **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 84-93, mar., 2008.

DERMESONLOUOGLU, E.; GIANNAKOUROU, M.; TAOUKIS, P. Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 272-280, jan. 2007.

DERMESONLOUOGLU, E.; GIANNAKOUROU, M.; TAOUKIS, P. Kinetic modelling of the quality degradation of frozen watermelon tissue: effect of the osmotic dehydration as a pre-treatment. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 42, n. 7, p. 790-798, jul. 2007.

DERMESONLOUOGLU, E. K.; POURGOURI, S.; TAOUKIS, P. S. Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment to the shelf life of frozen cucumber. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 9, n. 4, p. 542-549, out. 2008.

DEROSSI, A.; DE PILLI, T.; SEVERINI, C. Reduction in the pH of vegetables by vacuum impregnation: a study on pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 99, n. 1, p. 9-15, jul. 2010.

DEVIC, E., et al. Effect of temperature and cultivar on polyphenol retention and mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 1, p. 606-14, jan. 2010.

DIONELLO, R. G., et al. Osmotic dehydration of sliced pineapple in sucrose and in inverted sugar syrup (Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 701-709, 2007.

ELAOUAR, A., et al. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 75, n. 2, p. 267-274, jul. 2006.

EL-AQUAR, A. A.; MURR, F. E. X. Estudio e modelagem da cinética de desidratação osmótica do mamão formosa (*papaya* L.). **Ciencia y Tecnología Alimentaria**, v. 23, n. 1, p. 69-75, 2003.

EREN, I.; KAYMAKERTKIN, F. Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 1, p. 344-352, mar. 2007.

FALADE, K. O.; IGBEKA, J. C. Osmotic Dehydration of Tropical Fruits and Vegetables. **Food Reviews International**, v. 23, n. 4, p. 373-405, set. 2007.

FANTA, S. W., et al. Microscale modeling of water transport in fruit tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 2, p. 229-237, set. 2013.

FANTE, C., et al. Original article Drying of plums (*Prunus* sp , c . v Gulfblaze) treated with KCl in the field and subjected to pulsed vacuum osmotic dehydration. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, p. 1080-1085, 2011.

FERRANDO, M.; SPIESS, W. E. L. Cellular response of plant tissue during the osmotic treatment with sucrose, maltose, and trehalose solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 115-127, ago. 2001.

FERRARI, C. C., et al. Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 564-570, set. 2005.

FERRARI, C. C., et al. Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 2, p. 436-443, fev. 2011.

FERREIRA S. M. R; FREITAS R.J. S; LAZZARI E.N. Padrão de identidade e qualidade do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de mesa. **Ciência Rural** 34, p.329-335, 2004.

FITO, P., et al. Mass transport and deformation relaxation phenomena in plant tissues. In: J. Welt-Chanes, G. Barbosa-Cánovas; J. M. Aguilera (Editors.). **Engineering and food for the 21st Century**. Boca Raton: CRC Press, 2002. p. 235-254.

FITO, P.; CHIRALT, A. An approach to the modeling of solid food-liquid operations: application to osmotic dehydration. In: FITO, P.; ORTEGA-RODRIGUEZ, E.; BARBOSA-CANOVAS, G. (Editors.). **Food engineering**. New York: Chapman and Hall, 1997. p. 231-252.

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

FITO, P., et al. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. **Vacuum**, v. 49, p. 297-302, 2001.

GARCÍA, M., et al. Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. **Food Research International**, v. 43, p. 1656-1660, 2010.

GIOVANELLI, G., et al. Effects of blanching pre-treatment and sugar composition of the osmotic solution on physico-chemical, morphological and antioxidant characteristics of osmodehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 263-271, nov. 2012.

GIRALDO, G., et al. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, v. 58, n. 1, p. 33-43, jun. 2003.

GRAS, M., et al. The response of some vegetables to vacuum impregnation. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 3, n. 3, p. 263-269, set. 2002.

GUALBERTO, R.; OLIVEIRA, P. S. R.; GUIMARÃES, A.M. Desempenho de cultivares de tomateiro para mesa em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 244-246, 2007.

GUILLEMIN, A., et al. Influence of impregnation solution viscosity and osmolarity on solute uptake during vacuum impregnation of apple cubes (var. Granny Smith). **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 475-483, jun. 2008.

HAMLEDARI, A, A. BASSIRI, B. GHIASSI TARZI, M. B. M. Pulsed Vacuum Osmotic Dehydration of Garlic Bulbs followed by Microwave Drying. **Journal of Food Biosciences and Technology**, v. 2, p. 41-56, 2012.

HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality. **Sciences des aliments**, v. 10, n. 4, p. 831-848, 1990.

HEREDIA, A.; BARRERA, C.; ANDRES, A. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 1, p. 111-118, maio. 2007.

HEREDIA, A., et al. Influence of process variables on colour changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, n. 4, p. 285-294, jun. 2009.

HEREDIA, A., et al. Effect of osmotic pre-treatment and microwave heating on lycopene degradation and isomerization in cherry tomato. **Food Chemistry**, v. 123, n. 1, p. 92-98, nov. 2010.

HEREDIA, A., et al. Volatile profile of dehydrated cherry tomato: influences of osmotic pre-treatment and microwave power. **Food Chemistry**, v. 130, n. 4, p. 889-895, fev. 2012.

ITO, A. P., et al. Efeito do processo de desidratação osmótica a pulso de vácuo na transferência de massa e nas propriedades reológicas e de cor de fatias de manga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 27, p. 54-63, 2007.

JERÔNIMO, C. E. M. Modelagem da Cinética de desidratação de caroços de jaca (*Artocarpus integrifolia*). **Scientia Plena**, v. 8, n. 6, p. 1-7, 2012.

JUSTUS, A. **Ultrassom na desidratação osmótica de tomates (*Lycopersicon esculentum*)** cv . 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2012.

KEJING, A., et al. Effect of osmotic dehydration with pulsed vacuum on hot-air drying kinetics and quality attributes of cherry tomatoes. **Drying Technology**, 2012.

LAZARIDES, H. Kinetics of osmotic dehydration of a highly shrinking vegetable tissue in a salt-free medium. **Journal of Food Engineering**, v. 30, n. 1-2, p. 61-74, nov. 1996.

LAZARIDES, H. N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. **Journal of Food Engineering**, v. 25, n. 2, p. 151-166, jan. 1995.

LENART, A.; LEWICKI, P. Handbook of Industrial Drying, Boca Raton: Ed. Taylor and Francis group. In: P. LEWICKI, A. L. (Ed.). **Drying Technology**. 3. ed., v. 6, p. 665-681, 2006.

LERTWORASIRIKUL, S.; SAETAN, S. Artificial neural network modeling of mass transfer during osmotic dehydration of kaffir lime peel. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 2, p. 214-223, maio 2010.

LEWICKI, P.; LE, V. H.; PAMARANSKA-LAZUKA. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 2, p. 141-146, set. 2002.

LEWICKI, P. P.; PORZECKA-PAWLAK, R. Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 1, p. 43-50, jan. 2005.

LI, H., et al. Mass transfer evaluation of ultrasonic osmotic dehydration of cherry tomatoes in sucrose and salt solutions. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 5, p. 954-960, maio 2012.

LOBO, M. D. V. **Tecnologia do Processamento de Frutas e Hortaliças**. Juiz de Fora, MG: Agroescola, 2002.

LOMBARD, G., et al. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 2, p. 277-284, mar. 2008.

MANDALA, I. G.; ANAGNOSTARAS, E. F.; OIKONOMOU, C. K. Influence of osmotic dehydration conditions on apple air-drying kinetics and their quality characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 3, p. 307-316, 2005.

MANIVANNAN, P.; RAJASIMMAN, M. Optimization of Process Parameters for the Osmotic Dehydration of Beetroot in Sugar Solution. **Journal of Food Process Engineering**, v. 34, n. 3, p. 804-825, 19 jun. 2011.

MARFIL, P.; SANTOS, E.; TELIS, V. Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 9, p. 1642-1647, nov. 2008.

MARTÍNEZ-VALENCIA, B. B., et al. Pulsed vacuum osmotic dehydration kinetics of melon (*Cucumis melo L.*) var . cantaloupe. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 15, p. 3588-3596, 2011.

MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V.; SJÖHOLM, L. Osmotic Dehydration of Apples - Effects of Agitation and Raw Material Characteristics, **Journal of Food Engineering**, v. 8774, n. 98, 1998.

MAYOR, L.; PISSARRA, J.; SERENO, A.M. Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 326–339, 2008.

MAYOR, L., et al. Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 2, p. 253-262, maio. 2006.

MAYOR, L., et al. Osmotic Dehydration Kinetics of Pumpkin Fruits Using Ternary Solutions of Sodium Chloride and Sucrose. **Drying Technology**, v. 25, n. 10, p. 1749-1758, out. 2007.

MAYOR, L.; MOREIRA, R.; SERENO, A. M. Shrinkage, density, porosity and shape changes during dehydration of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 1, p. 29-37, mar. 2011.

MERCALI, G. D., et al. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 82-91, jan. 2011.

MERCALI, G. D., et al. Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of bananas (*Musa sapientum*, shum.). **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 11, p. 2281-2289, nov. 2010.

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. 2. ed. New York: Gordon and Breach, p. 891, 1986.

MONNERAT, S. M., et al. Concentration profiles and effective diffusion coefficients of sucrose and water in osmo-dehydrated apples. **Food Research International**, v. 39, n. 6, p. 739-748, jul. 2006.

MONNERAT, S. M., et al. Osmotic dehydration of apples in sugar/salt solutions: Concentration profiles and effective diffusion coefficients. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 4, p. 604-612, out. 2010.

MORAGA, M., et al. Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 3, p. 372-379, fev. 2009.

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

MORENO, J., et al. Influence of Ohmic Heating and Vacuum Impregnation on the Osmotic Dehydration Kinetics and Microstructure of Pears (cv. Packham's Triumph). **Journal of Food Engineering**, fev. 2011.

MÚJICA-PAZ, H, et al. Impregnation properties of some fruits at vacuum pressure. **Journal of Food Engineering**, v. 56, n. 4, p. 307-314, mar. 2003.

NAGATA, M.; YAMASHITA, I. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaish**, 39, n. 10, p. 925-928, 1992.

PALOU, E., et al. Osmotic dehydration of papaya: effect of syrup concentration. **Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, Valencia, v. 33, n. 6, p. 621-630, 1993.

PANADÉS, G., et al. Osmotic dehydration of guava: Influence of operating parameters on process kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 4, p. 383-389, fev. 2006.

PANAGIOTOU, N. M.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B. Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 33, n. 3, p. 267-284, jun. 1998.

PELEG, M. An empirical-model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, n. 4, p. 1216-1219, jul. 1988.

PEÑA, L. M. R. **Estudo de pré-tratamento para a obtenção de tomate desidratado em fatias**. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

PORCIUNCULA, B. D. A., et al. Determining the effective diffusion coefficient of water in banana (Prata variety) during osmotic dehydration and its use in predictive models. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 3, p. 490-496, dez. 2013.

PRINZIVALLI, C., et al. Effect of osmosis time on structure, texture and pectic composition of strawberry tissue. **European Food Research and Technology**, 224, p.119–127, 2006.

PROTHON, F., et al. Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture, microstructure and rehydration characteristics. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 34. p. 95-101. 2001.

RANGANNA, S. **Manual of Analysis of Fruit and Vegetables Products**, Mysore: Ed. Central Food Technological Research Institute, 1977. 634p.

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

RASTOGI, N. K., et al. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. **Trends in Food Science & Technology**, v. 13, n. 2, p. 48-59, fev. 2002.

RASTOGI, N.; RAGHAVARAO, K. Mass Transfer During Osmotic Dehydration: Determination of Moisture and Solute Diffusion Coefficients from Concentration Profiles. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, n. 1, p. 44-48, mar. 2004.

RINCON, A.; KERR, W. L. Influence of Osmotic Dehydration, Ripeness and Frozen Storage on Physicochemical Properties of Mango. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 34, n. 5, p. 887-903, 15 out. 2010.

RIZZOLO, A., et al. Headspace volatile compounds during osmotic dehydration of strawberries (cv Camarosa): Influence of osmotic solution composition and processing time. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 3, p. 529-535, abr. 2007.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos**. Campinas: Casa do Pão, 2005. 325 p.

- RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N. Image analysis of osmotically dehydrated fruits: melons dehydration in a ternary system. **European Food Research and Technology**, v. 225, n. 5-6, p. 685-691, 15 set. 2006.
- RÓZEK, A., et al. Grape phenolic impregnation by osmotic treatment: Influence of osmotic agent on mass transfer and product characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 1, p. 59-68, set. 2009.
- SABLANI, S.S., RAHMAN, M.S. Pore formation in selected foods as a function of shelf temperature during freeze drying. **Drying Technol** 20:1379–1391, 2002.
- SALVATORI, D.; ALZAMORA, S. M. Structural changes and mass transfer during glucose infusion of apples as affected by blanching and process variables. **Drying Technol.**, 18(1&2), 361– 382, 2000.
- SALVATORI, D. Osmotic dehydration progression in apple tissue I: spatial distribution of solutes and moisture content. **Journal of Food Engineering**, v. 42, n. 3, p. 125-132, nov. 1999.
- SANINO, A.; CORTEZ, L. B.; MEDEROS, B. T. Vida de prateleira do tomate (*Lycopersicum esculentum*), variedade “ Débora ”, submetido a diferentes condições de resfriamento . In: **Workshop de tomate: perspectivas e pesquisa**. Campinas, 2003. 6 p.
- SEGUÍ, L.; FITO, P. J.; FITO, P. Analysis of structure-property relationships in isolated cells during OD treatments. Effect of initial structure on the cell behaviour. **Journal of Food Engineering**, v. 99, n. 4, p. 417-423, ago. 2010.
- SERENO, A.; MOREIRA, R.; MARTINEZ, E. Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. **Journal of Food Engineering**, v. 47, n. 1, p. 43-49, jan. 2001.
- SHARMA, S. K.; LE MAGUER, M. Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. **Food Research International**, 29, 309–315, 1996.

SHI, J., et al. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. **Food Research International**, v. 32, n. 1, p. 15-21, jan. 1999.

SHI, J.;MAGUER, M.; BRYAN, M. Lycopene from Tomatoes. In: **Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects**. Boca Raton: CRC Press, 2002.

SHI, X. Q.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of vacuum treatment on mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **Food Research International**, v. 28, n. 5, p. 445- 454, 1995.

SINGH, B.; KUMAR, A; GUPTA, A. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 79, n. 2, p. 471-480, mar. 2007.

SILVA, M. A. C.; CORRÊA, J. L. G.; DA SILVA, Z. E. Application of inverse methods in the osmotic dehydration of acerola. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 12, p. 2477-2484, dez. 2010.

SILVA, V. K. L. et al. Efeito da pressão osmótica no processamento e avaliação da vida de prateleira de tomate seco. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 55-66, 2010.

SIMAL, S. Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 36, n. 3, p. 323-336, maio. 1998.

SINGH, B., et al. Optimisation of osmotic dehydration process of carrot cubes in mixtures of sucrose and sodium chloride solutions. **Food Chemistry**, v. 123, n. 3, p. 590-600, dez. 2010.

SPIAZZI, E., MASCHERONI, R. Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables–I. Development of the simulation model. **J. Food Eng.** 34, p. 387–410, 1997.

SOURAKI, B. A.; GHAFFARI, A.; BAYAT, Y. Mathematical Modeling of Moisture and Solute Diffusion in the Cylindrical Green Bean during Osmotic Dehydration in Salt Solution. **Food and Bioproducts Processing**, dez. 2010.

SOURAKI, B.; GHAVAMI, M.; TONDRO, H. Mass transfer during osmotic dehydration of green bean in salt solution: A polynomial approximation approach. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 3, p. 257-263, jul. 2013.

SOUZA, J., et al. Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in a ternary system followed by air-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 83, n. 4, p. 501-509, dez. 2007.

TALENS, P., et al. Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwi fruit. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 3, n. 2, p. 191-199, jun. 2002.

TABELA brasileira de composição de alimentos. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4-versao_ampliada_e_revisada.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2012.

TELIS, V.; MURARI, R. C. B. D. L.; YAMASHITA, F. Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 2, p. 253-259, fev. 2004.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 715-723, set. 2006.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 4, p. 509-517, out. 2007.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v. 49, p. 247-253, 2001.

TORRES, J. D., et al. Volatile profile of mango (*Mangifera indica* L.), as affected by osmotic dehydration. **Food Chemistry**, v. 101, n. 1, p. 219-228, jan. 2007.

TORRES, J. D. et al. Quality Characteristics, Respiration Rates, and Microbial Stability of Osmotically Treated Mango Tissue (*Mangifera indica* L.) with or without Calcium Lactate. **Food Science and Technology International**, v. 14, n. 4, p. 355-365, ago. 2008.

TSAMO, C. V. P., et al. Study of material transfer during osmotic dehydration of onion slices (*Allium cepa*) and tomato fruits (*Lycopersicon esculentum*).

LWT - Food Science and Technology, v. 38, n. 5, p. 495-500, ago. 2005.

TYERMAN, S. D., et al. Plant aquaporins: their molecular biology, biophysics and significance for plant water relations, **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p. 1055-1071, jun. 1999.

QI, H.; MAGUER, M.; SHARMA, S. K. Design and selection of processing conditions of a pilot scale contactor for continuous osmotic dehydration of carrots. **Journal of Food Process Engineering**, 21, p. 75-88, 1998.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 46, n. 5, p. 386-392, maio 2007.

UBOLDI, E.M.N. Atividade de água: influencia sobre desenvolvimento de microorganismos e métodos de determinação em alimentos. **Boletim do ITAL**, v.3, n.18, p.353-383, 1981.

UDDIN, M. B.; AINSWORTH, P.; IBANOGLU, S. The osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 65, p. 473-477, 2004.

VASCONCELOS, J. I. L. A., et al. Osmotic dehydration of the Indian fig (*Opuntia ficus indica*) with binary and ternary solutions. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 11, p. 2359-2365, nov. 2012.

VASCONCELOS, J. L. DE L. A. **Desidratação Osmótica de Figo da Índia (*Opuntia ficus indica*)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

VIEIRA, G. S.; PEREIRA, L. M.; HUBINGER, M. D. Optimisation of osmotic dehydration process of guavas by response surface methodology and desirability function. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 1, p. 132-140, jan. 2012.

VIEIRA, G. S. **Otimização do processo de desidratação osmótica de goiaba e avaliação do uso de pulso de vácuo e sais de cálcio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2010.

VIEIRA, M. Características físico-químicas e sensorias do tomate (*Lycopersicon esculentum*) produzido por cultivo orgânico em comparação ao convencional. **Alim. Nutri.**, v. 16, n. 4, p. 355-361, 2005.

WANG, X., et al. Enhanced mass transfer of osmotic dehydration and changes in microstructure of pickled salted egg under pulsed pressure. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 1, p. 141-150, jul. 2013.

WANG, N.; BRENNAN, J. G. A mathematical model of simultaneous heat and mass transfer during drying of potato. **Journal of Food Engineering**, 24:47-60, 1995.

WIESE, K. L.; DALMASSO, J. P. Relationship of color, viscosity, organic acid profiles and ascorbic acid content to addition of organic acid and salt in tomato juice. **J. Food Quality**, 17, 273-284, 1994.

YADAV, B. S.; YADAV, R. B.; JATAIN, M. Optimization of osmotic dehydration conditions of peach slices in sucrose solution using response surface methodology. **Journal of food science and technology**, v. 49, n. 5, p. 547-55, out. 2012.

ZHAO, Y.; XIE, J. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, n. 9, p. 434-451, set. 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Tabelas dos valores e desvios padrões obtidos no Plackett Burman

Tabela 1 Valores e desvios padrões da perda de água da PVOD de tomates em fatias

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Perda de água (%)
1	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	-1 (0)	-1 (15)	11,17±0,58
2	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	-1 (15)	38,52±2,25
3	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	19,97±2,73
4	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	41,76±7,71
5	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	60,34±2,81
6	1 (45)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	26,30±3,25
7	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	34,50±1,46
8	-1 (25)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	1 (35)	40,35±6,89
9	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	45,44±2,26
10	1 (45)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	25,47±3,55
11	-1 (25)	1 (150)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	21,86±2,20
12	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	-1 (15)	6,95±0,88
13	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	26,98±0,72
14	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	29,48±3,75
15	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	26,52±0,78

X₁- Temperatura; X₂ - Pressão de vácuo; X₃ - Tempo de vácuo; X₄ - Concentração de cloreto de sódio; X₅ -Concentração de sacarose

Tabela 2 Valores e desvios padrões do ganho de sólidos da PVOD de tomates em fatias

Ensaio	X₁	X₂	X₃	X₄	X₅	Ganho de sólidos (%)
1	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	-1 (0)	-1 (15)	0,86±0,02
2	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	-1 (15)	3,84±0,21
3	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	1,27±0,12
4	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	4,32±0,70
5	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	9,03±0,73
6	1 (45)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	2,54±0,15
7	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	3,01±0,28
8	-1 (25)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	1 (35)	5,19±0,39
9	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	4,65±0,35
10	1 (45)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	2,21±0,06
11	-1 (25)	1 (150)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	1,69±0,06
12	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	-1 (15)	0,01±0,00
13	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	3,12±0,14
14	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	3,26±0,39
15	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	3,33±0,27

X₁- Temperatura; X₂ – Pressão de vácuo; X₃ – Tempo de vácuo; X₄ – Concentração de cloreto de sódio; X₅ –Concentração de sacarose

Tabela 3 Valores e desvios padrões da redução de peso da PVOD de fatias de tomates

Ensaio	X₁	X₂	X₃	X₄	X₅	Redução de peso
1	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	-1 (0)	-1 (15)	6,24±0,65
2	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	-1 (15)	26,30±2,95
3	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	15,32±2,87
4	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	30,05±10,18
5	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	49,31±4,14
6	1 (45)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	15,67±2,74
7	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	24,44±1,83
8	-1 (25)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	1 (35)	36,22±2,65
9	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	34,69±2,99
10	1 (45)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	15,64±3,83
11	-1 (25)	1 (150)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	14,02±1,79
12	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	-1 (15)	7,64±1,13
13	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	28,70±0,75
14	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	31,32±3,94
15	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	28,21±3,97

X₁- Temperatura; X₂ – Pressão de vácuo; X₃ – Tempo de vácuo; X₄ – Concentração de cloreto de sódio; X₅ –Concentração de sacarose

Tabela 4 Valores e desvios padrões da atividade de água da PVOD de tomates em fatias

Ensaio	X₁	X₂	X₃	X₄	X₅	Atividade de água
1	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	-1 (0)	-1 (15)	0,991±0,001
2	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	-1 (15)	0,900±0,002
3	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	0,985±0,001
4	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	0,898±0,001
5	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	0,885±0,001
6	1 (45)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	0,978±0,001
7	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	0,927±0,002
8	-1 (25)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	1 (35)	0,928±0,005
9	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	0,932±0,005
10	1 (45)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	0,981±0,001
11	-1 (25)	1 (150)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	0,986±0,001
12	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	-1 (15)	0,990±0,001
13	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	0,949±0,001
14	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	0,946±0,006
15	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	0,950±0,004

X₁- Temperatura; X₂ – Pressão de vácuo; X₃ – Tempo de vácuo; X₄ – Concentração de cloreto de sódio; X₅ –Concentração de sacarose

Tabela 5 Valores e desvios padrões do teor de umidade da PVOD de tomates no tempo de 300 min

Ensaio	X₁	X₂	X₃	X₄	X₅	Teor de Umidade
1	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	-1 (0)	-1 (15)	89,1782±0,4467
2	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	-1 (15)	76,3383±0,4321
3	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	87,7396±2,0120
4	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	75,7994±0,1651
5	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	67,9619±0,1437
6	1 (45)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	79,7865±0,5751
7	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	78,5678±0,7421
8	-1 (25)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	1 (35)	73,0930±0,7544
9	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	75,5551±2,6358
10	1 (45)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	81,1404±0,3650
11	-1 (25)	1 (150)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	85,7366±3,3604
12	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	-1 (15)	94,2369±0,2283
13	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	79,0860±1,2648
14	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	78,9325±1,0467
15	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	77,6344±2,5100

X₁- Temperatura; X₂ – Pressão de vácuo; X₃ – Tempo de vácuo; X₄ – Concentração de cloreto de sódio; X₅ –Concentração de sacarose

Tabela 6 Valores e desvios padrões do ganho de sal da PVOD de tomates no

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Ganho de sal
1	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	-1 (0)	-1 (15)	0,00±0,03
2	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	-1 (15)	2,34±0,45
3	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	0,00±0,13
4	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	2,33±0,17
5	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	0,55±0,06
6	1 (45)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	0,01±0,06
7	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	1,77±0,12
8	-1 (25)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	1 (35)	1,59±0,32
9	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	1,72±0,03
10	1 (45)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	0,01±0,10
11	-1 (25)	1 (150)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	0,01±0,03
12	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	-1 (15)	0,02±0,07
13	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	1,02±0,10
14	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	1,20±0,28
15	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	1,07±0,77

X₁- Temperatura; X₂ – Pressão de vácuo; X₃ – Tempo de vácuo; X₄ – Concentração de cloreto de sódio; X₅ –Concentração de sacarose

Tabela 7 Valores e desvios padrões dos parâmetros de cor L*, a*, b*, ângulo Hue (H_{ab}), chroma (C_{ab}) e diferença total de cor (ΔE) da PVOD de tomates em fatias

Ensaio	L*	a*	b*	H	C	ΔE
1	35,50±1,84	10,85±1,15	14,1191±1,9345	52,47±0,07	17,84±1,90	7,88±1,58
2	39,39±1,98	19,41±3,10	16,3841±2,8580	40,18±0,06	25,43±3,99	7,28±3,87
3	39,10±1,33	18,00±2,18	18,6033±2,7700	45,95±0,07	25,93±3,18	7,24±2,51
4	39,47±1,87	19,92±2,75	16,4358±2,4276	39,53±0,06	25,86±3,41	7,77±2,96
5	41,44±1,56	26,14±2,18	18,3716±1,9432	35,11±0,07	32,00±2,24	13,35±2,28
6	40,83±3,09	17,39±2,25	20,2391±2,456-	49,34±0,07	26,73±2,91	7,40±3,28
7	39,92±2,07	19,65±2,05	17,0291±3,1867	40,92±0,05	26,03±3,55	7,50±3,28
8	41,43±0,64	18,77±1,63	12,9375±1,1019	34,59±0,04	22,81±1,75	5,98±1,29
9	41,20±1,00	18,16±1,15	15,0666±1,2347	39,69±0,04	23,61±1,39	5,08±1,99
10	38,51±2,65	19,00±2,04	20,0241±3,1635	47,33±0,06	28,06±3,46	9,12±3,94
11	40,62±1,63	18,01±2,34	17,0258±3,9938	43,40±0,07	24,83±4,36	6,50±2,97
12	41,38±1,38	13,10±2,25	14,4600±3,1697	47,83±0,03	24,81±3,83	10,59±2,30
13	39,79±1,22	17,34±2,22	15,8766±2,7177	42,48±0,05	23,53±3,37	5,26±2,97
14	39,51±1,56	16,31±1,22	16,2833±1,9677	44,96±0,07	23,10±1,72	4,83±1,64
15	39,92±1,16	17,87±1,89	15,3766±1,3299	40,73±0,09	23,64±1,36	5,51±1,43

X₁- Temperatura; X₂ – Pressão de vácuo; X₃ – Tempo de vácuo; X₄ – Concentração de cloreto de sódio; X₅ –Concentração de sacarose

Tabela 8 Valores e desvios padrões do teor de licopeno e β -caroteno da PVOD de tomates no tempo de 300 min apresentados em mg/100g

Ensaio	X₁	X₂	X₃	X₄	X₅	Licopeno	β-caroteno
1	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	-1 (0)	-1 (15)	90,40±0,29	9,93±0,01
2	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	-1 (15)	68,93±0,17	10,76±0,05
3	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	16,57±0,01	3,98±0,00
4	1 (45)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	102,26±0,55	38,46±0,21
5	1 (45)	1 (150)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	49,09±0,14	6,39±0,05
6	1 (45)	1 (150)	1 (15)	-1 (0)	1 (35)	47,62±0,13	7,92±0,04
7	-1 (25)	1 (150)	1 (15)	1 (15)	-1 (15)	56,89±0,01	12,79±0,01
8	-1 (25)	-1 (50)	1 (15)	1 (15)	1 (35)	85,14±0,07	25,29±0,02
9	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	1 (15)	1 (35)	67,26±0,16	21,80±0,02
10	1 (45)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	58,44±0,28	14,07±0,11
11	-1 (25)	1 (150)	-1 (0)	-1 (0)	1 (35)	65,72±0,17	12,41±0,03
12	-1 (25)	-1 (50)	-1 (0)	-1 (0)	-1 (15)	42,18±0,01	9,11±0,00
13	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	51,74±0,09	9,67±0,03
14	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	47,45±0,06	9,18±0,02
15	0 (35)	0 (100)	0 (10)	0 (7,5)	0 (25)	58,64±0,02	12,47±0,00

X₁- Temperatura; X₂ – Pressão de vácuo; X₃ – Tempo de vácuo; X₄ – Concentração de cloreto de sódio; X₅ –Concentração de sacarose

Tabela 9 PA, GS, encolhimento e a_w no decorrer dos 300 min de DO e PVOD de fatias de tomate

	DO	PVOD
PA	31,78 aA	32,51 aB
GS	3,24 aA	3,42 aB
Encolhimento	0,7 aA	0,77 bB
a_w	0,953 aA	0,961 bB

Médias seguidas pela mesma letra: minúscula na horizontal e maiúscula na horizontal, não diferem significativamente pelo teste t, a 5% de probabilidade, quanto ao processo de DO e PVOD e quanto ao tempo respectivamente.