



AMANDA UMBELINA DE SOUZA

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM DE
TOMATE: INFLUÊNCIA DO PULSO DE VÁCUO
NA INCORPORAÇÃO DE SÓDIO EM SOLUÇÕES
TERNÁRIAS**

LAVRAS - MG

2017

AMANDA UMBELINA DE SOUZA

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM DE TOMATE:
INFLUÊNCIA DO PULSO DE VÁCUO NA INCORPORAÇÃO DE SÓDIO
EM SOLUÇÕES TERNÁRIAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação de Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa

LAVRAS - MG

2017

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Souza, Amanda Umbelina de.

Desidratação osmótica e secagem de tomate: Influência do pulso de vácuo na incorporação de sódio em soluções ternária / Amanda Umbelina de Souza. - 2017.

82 p.

Orientador(a): Jefferson Luiz Gomes Corrêa.

.
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Desidratação osmótica. 2. Redução de sódio. 3. Secagem de tomates. I. Corrêa, Jefferson Luiz Gomes. . II. Título.

AMANDA UMBELINA DE SOUZA

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM DE TOMATE:
INFLUÊNCIA DO PULSO DE VÁCUO NA INCORPORAÇÃO DE SÓDIO
EM SOLUÇÕES TERNÁRIAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação de Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 21 de fevereiro de 2017.

Dr. Gustavo César Dacanal	USP
Dr. Diego Alvarenga Botrel	UFLA
Dra. Soraia Vilela Borges	UFLA

Dr. Jefferson Luiz Gomes Corrêa
Orientador

**LAVRAS - MG
2017**

A Deus.

Aos meus amados pais, João e Neuza.

Às minhas irmãs, Alice e Mírian.

À minha sobrinha, Larissa.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as coisas boas e más que me aconteceram. Cada uma delas, a seu modo, me fizeram chegar aonde eu cheguei, e me fizeram ser quem eu sou. “Porque Dele, e por meio Dele, e para Ele, são todas as coisas. A Ele, pois, a glória eternamente” Rm 11: 36.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciência de alimentos, pela oportunidade.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro concedido através da bolsa de estudos.

À FAPEMIG pelo financiamento do projeto.

Ao professor, orientador e querido amigo Jefferson Luiz Gomes Corrêa, agradeço por ter me recebido tão bem! Agradeço pelos ensinamentos, paciência, confiança e orientação.

Ao professor Gustavo César Dacanal pela contribuição com ideias e sugestões.

Agradeço a todos os professores, técnicos e funcionários de limpeza do Departamento de Ciência dos Alimentos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial agradeço às professoras Soraia e Marali e aos técnicos, Tina, Creuza e Titi, pela amizade, carinho e pela disponibilidade para me ajudar.

Aos meus pais, João Batista e Neuza, por apoiarem sempre os meus sonhos e confiar nos meus planos. Às minhas irmãs, Alice e Mírian e à minha sobrinha Larissa, pelo amor, compreensão e paciência! A toda a minha família pelos conselhos e por me fazer sentir mais especial a cada chegada e a cada despedida nas minhas viagens. À minha segunda família, Erlane e Ana Paula, por terem apostado em mim desde a graduação.

Aos meus queridos amigos Diego Botrel e Regiane Fernandes, por me incentivarem a seguir a carreira acadêmica na qual sou muito feliz. Vocês fazem e farão parte de todas as vitórias que vierem na minha vida!

Raíssa Andrade, Nayara Cristiane e Nikole Gonçales, agradeço a vocês pela amizade sincera e verdadeira. Isso é prova viva que a distância não separa ninguém.

Renata Rocha e Lenízy Rocha, agradeço a vocês por terem se tornado verdadeiras amigas-irmãs e por transformar meus dias mais divertidos e com o aconchego de família. A Joana Rocha, Alenir e Vander Junior, pelo carinho e amizade.

À Igreja Presbiteriana da Vila Murad, pelo acolhimento, em especial aos amigos e conselheiros Pastor Ramon Moreira e sua esposa Sara Moreira, por alimentar minha vida espiritual.

Aos amigos da UFV-Rio Paranaíba Fernandinha, Lili, Taci, Michele Morais, Marlon Corrêa, Even Jheice, Tiemi Naito. Vocês são mais que especiais!

Aos amigos do Laboratório de Engenharia de Alimentos, Ronaldo Mello, Mariana Gonçalves, Paula Giarolla, Kamilla Mendonça, João Renato, Francemir Lopes e Ana Luiza, por tantas coisas! Cada um de vocês tem uma contribuição singular e especial neste trabalho e na vida, que sempre vou levar comigo.

Aos amigos da pós-graduação Marcos Bissoli, Michele Ribeiro, João Eduardo, Ana Paula, Daniel Arantes, Eloá Lourenço, Sérgio Henrique, Isadora Cardoso, Pedro Campelo, Lorena Mendes, Ítalo Careli, Maria Cecília, Maria Clara, Marília e Mariana Crivelari, Mariá Andrade, Priscila Lima, Nathane Resende, Rhana Amanda, Elídio Zaidine, Taciene Carvalho, Hugo Junior e Gabriel Ribeiro, pelas conversas, risadas, encontros, ideias e tantas coisas boas que eu vivi com vocês!!! A todos, muitíssimo obrigada!

RESUMO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo realizar a otimização do processo de desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD), utilizando soluções ternárias, visando, principalmente, a redução da incorporação de sódio. A secagem dos discos de tomate osmodesidratados também foi investigada. Na PVOD a solução ternária utilizada foi composta por sacarose e cloreto de sódio e as variáveis independentes foram pressão absoluta (P_{abs}), tempo de aplicação de vácuo (TV) e atividade de água da solução (a_w). As variáveis respostas foram incorporação de sódio (INa), perda de água (PA), redução de peso (RP), avaliadas através de um delineamento composto central rotacional (DCCR) e otimizadas pela função desejabilidade. O TV não influenciou significativamente as variáveis independentes. Uma redução na a_w da solução e na P_{abs} provocou a redução na INa e um aumento na PA e na RP dos tomates. As condições ótimas obtidas foram P_{abs} de 627,5 mm Hg, TV de 15 minutos e a_w da solução de 0,903, que conduziram a maiores PA e RP e mínimo INa, com valores de 30,59%; 24,69% e 63,14 g/kg respectivamente. Amostras pré-tratadas por PVOD nas condições ótimas foram submetidas à secagem convectiva à 50 e 70°C com velocidade do ar de 0,5 e 1,5 m s⁻¹. Os parâmetros avaliados foram tempo de secagem, a_w , cor e razão de reidratação. As cinéticas de secagem foram obtidas e ajustadas usando o modelo de Fick. Após a secagem, as amostras com teor de umidade de 19 kg de água kg⁻¹ de matéria úmida apresentaram a_w a níveis seguros, abaixo de 0,450. Foram obtidos tempos de secagem mais curtos, maior difusividade efetiva da água com o aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem. Além disso, o modelo de Fick se ajustou bem aos dados experimentais. A maior temperatura de secagem levou a uma maior razão de reidratação. Pequenas variações foram observadas nos parâmetros de cor. As difusividades efetivas de umidade variaram de $8,16 \times 10^{-9}$ a $2,38 \times 10^{-8}$ m² s⁻¹ na faixa de temperatura estudada. Os resultados demonstram que o uso da PVOD com soluções ternárias pode ser recomendado para reduzir a INa em tomates.

Palavras chave: Otimização. Tomate seco. Redução de sódio.

GENERAL ABSTRACT

The aim of the present work was to optimize the vacuum pulse osmotic dehydration (PVOD) process using ternary solutions aiming, mainly, to reduce sodium incorporation. The drying of the tomato disks was also investigated. In PVOD the ternary solution used was composed of sucrose and sodium chloride and the independent variables were absolute pressure (P_{abs}), time of application of vacuum (VT) and water activity of solution (a_w). The variables responses were sodium incorporation (INa), water loss (WL), weight reduction (WR), evaluated through a central rotational compound design (DCCR) and optimized by the desirability function. The vacuum time had no significant effect on the independent variables. A reduction in a_w of the solution and P_{abs} caused a reduction in INa and an increase in WL and WR of tomatoes. The optimum conditions obtained were P_{abs} of 627.5 mm Hg, VT of 15 minutes and a_w of the solution of 0.903, which led to higher WL and WR and minimum INa, with values of 30.59%; 24.69% and 63.14 g / kg respectively. Samples pretreated by PVOD under optimum conditions were submitted to convective drying at 50 and 70 °C with air velocity of 0.5 and 1.5 m s⁻¹. The evaluated parameters were drying time, a_w , color and rehydration ratio. The drying kinetics were obtained and adjusted using the Fick model. After drying, samples with a moisture content of 19 kg of wet water kg⁻¹ had a_w at safe levels below 0.450. Shorter drying times, greater effective water diffusivity with increasing temperature and drying air velocity were obtained. The Fick model fitted well to the experimental data. The higher drying temperature led to a higher ratio of rehydration. Small variations were observed in the color parameters. Effective moisture diffusivity ranged from 8.16×10^{-9} to 2.38×10^{-8} m² s⁻¹ in the temperature range studied. The results demonstrate that the use of vacuum pulse can be recommended to reduce the incorporation of sodium during the osmotic dehydration of tomatoes with ternary solutions.

Keywords: Optimization. Dry tomato. Sodium reduction.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 Esquema da transferência de massa no processo de desidratação osmótica.....55
- Figura 2 Representação do efeito da aplicação de pulso de vácuo na DO. 59
- Figura 3 Curvas típicas de secagem, onde X_{bs} é a evolução da umidade, dX/dt é a taxa de secagem e T a temperatura do produto. A região 0 corresponde ao período de indução, 1 ao período de taxa constante e 2 ao período de taxa decrescente61

SEGUNDA PARTE

- Figura 4 Superfícies de resposta para a PA de discos de tomates submetidos a PVOD.51
- Figura 5 Superfícies de resposta para RP de discos de tomates submetidos a PVOD.....52
- Figura 6 Superfícies de resposta para INa de discos de tomates submetidos a PVOD.....54
- Figura 7 Otimização simultânea da desidratação osmótica de discos de tomates submetidos a PVOD, variáveis de processo e perfil de desejabilidade individual e geral.56
- Figura 8 Curva de secagem dos discos de tomate a várias temperaturas e velocidade do ar de secagem. 74
- Figura 9 Razão de reidratação dos discos de tomates em cada tratamento realizado..... 76

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1	Composição química e valor energético em 100g de tomate in natura com sementes	53
----------	--	----

SEGUNDA PARTE

Tabela 2	Matriz do delineamento composto central rotacional de PVOD de discos de tomates, com as variáveis independentes: pressão absoluta (P_{abs}), tempo de vácuo (TV) e atividade de água da solução a_w	79
Tabela 3	Valores obtidos das variáveis respostas incorporação de sódio (INa), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), redução de peso (RP) e atividade de água do produto final ($a_{w_{pf}}$).....	83
Tabela 4	Modelo matemático codificado para a perda de água e redução de peso de tomates desidratados	50
Tabela 5	Modelo matemático codificado para a incorporação de sódio em tomates desidratados por PVOD.	53
Tabela 6	Valores atribuídos na investigação das melhores condições de processo via função desejabilidade.	55
Tabela 7	Parâmetros preditos e experimentais da desidratação osmótica com pulso de vácuo de discos de tomate.....	56
Tabela 8	Tempo total de secagem (min) e atividade de água do produto final	75
Tabela 9	Difusividade efetiva (D_{eff}), coeficiente de determinação (R^2), erro quadrático médio (RMSE) e soma do quadrado dos erros (SSE)...	76
Tabela 10	Parâmetros de cor dos discos de tomate in natura e após a secagem.	77

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO GERAL	49
2	REFERENCIAL TEÓRICO	52
2.1	Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	52
2.2	Desidratação osmótica (DO)	53
2.2.1	Variáveis do processo	56
2.3	Desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD)	58
2.4	Secagem	60
2.5	Secagem de tomates	62
2.6	Redução de sódio em alimentos processados	63
	REFERÊNCIAS	65
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	74
	ARTIGO 1 - Influência do pulso de vácuo na incorporação de sódio durante a desidratação osmótica de tomates em soluções ternárias	75
1	INTRODUÇÃO	75
2	MATERIAL E MÉTODOS	77
2.1	Material	77
2.2	Preparação das amostras e da solução osmótica	78
2.3	Desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD)	78
2.4	Planejamento experimental	79
2.5	Parâmetros de transferência de massa	81
2.6	Análises	82
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
3.1	Perda de água (PA) e redução de peso (RP)	49

3.2	Incorporação de sódio (INa)	52
3.3	Otimização da PVOD dos discos de tomates através da função desejabilidade	55
4	CONCLUSÃO	57
	ARTIGO 2 - Cinética e parâmetros de qualidade de tomates osmodesidratados com pulso de vácuo.	67
1	INTRODUÇÃO	67
2	MATERIAL E MÉTODOS	69
2.1	Material	69
2.2	Preparo das amostras	69
2.3	Desidratação osmótica com pulso de vácuo (pvod)	69
2.4	Secagem	70
2.5	Análises físico-químicas	70
2.6	Modelagem matemática das curvas de secagem	71
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
3.1	Efeito da temperatura e da velocidade do ar sobre o comportamento de secagem	73
3.2	Modelagem da cinética de secagem	75
3.3	Análise qualitativa	76
4	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS	79
5	CONCLUSÃO GERAL	82

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO GERAL

Um dos principais problemas enfrentados pelo setor agrícola é a perda pós-colheita de frutas e vegetais, causadas, dentre outros fatores, por injúrias, armazenamento inadequado e logística. É interessante que essas perdas sejam eliminadas ou minimizadas, a fim de aumentar a oferta desses alimentos, além de evitar desperdícios de investimentos financeiros e tempo gasto na produção.

A pós-colheita de tomate é afetada por estas perdas devido a fragilidade dos tecidos do fruto, por apresentar atividade de água (a_w) elevada e pela manutenção da sua atividade metabólica. O papel da indústria na conservação deste alimento é importante para reduzir o desperdício, garantindo segurança, qualidade e disponibilidade.

Um dos processos mais comuns para melhorar a estabilidade de alimentos é a secagem, pois atua nas reduções da a_w e da atividade microbiana minimizando as alterações físico-químicas e microbiológicas ao longo da vida útil dos produtos.

A secagem convectiva é um método muito utilizado na produção de alimentos desidratados permitindo elevada estabilidade. Porém, pode ocorrer modificações indesejáveis nos alimentos como escurecimento não enzimático, encolhimento, baixas características de reidratação e perda de nutrientes termossensíveis, sendo necessário a melhoria a aplicação de pré-tratamentos com o intuito de reverter tais alterações.

Desta forma, a desidratação osmótica (DO) vem sendo aplicada como um pré-tratamento à secagem, no qual envolve o contato entre um alimento e uma solução hipertônica, proporcionando, simultaneamente, perda de água e a incorporação de sólidos. A DO pode ser utilizada para minimizar perdas pós-colheita de frutas e vegetais, modificar as características sensoriais do produto

devido e melhorar a eficiência de secagem. Ela pode ser utilizada também como um pré-tratamento a outras tecnologias, visando redução de custos energéticos e tempo. A técnica pode ser realizada à pressão atmosférica ou com a aplicação de pulso de vácuo (PVOD), no início do processo por curtos períodos de tempo, podendo favorecer as taxas de transferência de massa. O vácuo faz com que gases oclusos das células sejam removidos e, ao restaurar a pressão, ocorre a penetração de solução osmótica nos poros formados, aumentando a área de contato entre o alimento e a solução.

Os principais solutos utilizados na DO são a sacarose e o cloreto de sódio, por reduzir a a_w da solução substancialmente, pelo baixo custo e por apresentar boas características sensoriais.

O cloreto de sódio tem sido alvo de pesquisas visando sua redução nos alimentos processados. Seu consumo excessivo está associado ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares. Além disto, a redução de sódio tem se destacado na área de pesquisa e desenvolvimento, devido ao apelo dos consumidores por uma vida mais saudável. Sendo assim, as pesquisas relacionadas com otimização de processos envolvendo a redução de sódio têm sido estimuladas.

Portanto, o objetivo geral do trabalho foi estudar a desidratação osmótica com pulso de vácuo em discos de tomate, utilizando planejamentos experimentais, para obter as melhores condições do processo, visando, principalmente, a redução da incorporação de sódio.

Os objetivos específicos foram estudar a influência das variáveis pressão e tempo de aplicação de pulso de vácuo e a_w da solução ternária (água-sacarose-NaCl) sobre as variáveis redução de peso, perda de água, ganho de sólidos e cor. Através do Planejamento Composto Central Rotacional (DCCR) e da função de desejabilidade, foi possível avaliar o impacto das variáveis independentes sobre as respostas e também obter as melhores condições de processamento.

A partir da condição ótima obtida, procedeu-se a secagem convectiva a fim de estudar a cinética de secagem, bem como avaliar o impacto na a_w , cor e na capacidade de reidratação do produto final.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tomate (*Solanum lycopersicum*)

O tomateiro é originário da costa oeste da América do Sul e pode se desenvolver em climas do tipo tropical, subtropical e temperado, permitindo seu cultivo em diversas regiões do mundo (EMBRAPA, 2013). O tomate (*Solanum lycopersicum*) é o vegetal mais cultivado no Brasil e, cerca de 4 milhões de toneladas foram produzidos em 2013 (FAO, 2013). Além disto, é um dos mais consumidos no mundo, tanto na forma fresca, em saladas, quanto processado, na forma de purês, suco, sopas e molhos extratos, ketchup e desidratado (KNOCKAERT et al., 2012).

O tomate é considerado um alimento funcional por ser uma excelente fonte de vitaminas A, C e E. Está associado à prevenção de doenças, como o câncer de próstata, devido ao alto teor de licopeno, que é um carotenoide responsável por conferir a cor vermelha ao fruto, que tem ação antioxidante (KNOCKAERT et al., 2012; ESCHER; COELHO; CHRIST, 2016). Na Tabela 1 é apresentada a composição química e valor energético do tomate.

Tabela 1 Composição química e valor energético em 100g de tomate in natura com sementes.

Água	95,1 g	Ferro	0,2 mg
Valor energético	15 Kcal	Fósforo	20 mg
Proteína	1,1 g	Manganês	0,07 mg
Lipídios	0,2g	Magnésio	11 mg
Colesterol	-	Potássio	222 mg
Carboidratos	3,1 g	Sódio	1 mg
Fibra alimentar	1,2 g	Zinco	0,1 mg
Cinzas	0,5 g	Tiamina	0,12 mg
Cálcio	7 mg	Piridoxina	0,02 mg
Cobre	0,04 mg	Vitamina C	21,2 mg

Fonte: (TACO, 2011).

Manter o produto fresco é a melhor maneira de preservar seu valor nutricional. Porém, as técnicas de armazenamento requerem, na maioria das vezes, temperaturas baixas durante toda a cadeia de distribuição tornando-se um desafio para os produtores (SAGAR; SURESH KUMAR, 2010). Devido a sua composição, o tomate é um alimento suscetível à deterioração. Um levantamento realizado pela FAO, em 2013, mostrou que 10% da produção brasileira de tomate é desperdiçada. Portanto, é necessário o processamento para aumentar a oferta desses alimentos e evitar desperdícios de investimentos financeiros e tempo gasto na produção.

2.2 Desidratação osmótica (DO)

Um dos processos mais usados para manter a estabilidade dos alimentos é a desidratação, uma vez que impacta diretamente na atividade microbiana e minimiza alterações físicas e químicas durante a vida útil do produto, devido a

diminuição da atividade de água (MAYOR; SERENO, 2004). Além disto, fornece praticidade no consumo e reduz custos com transporte e armazenamento (SOUZA et al., 2007).

A DO é um tratamento que leva à redução da a_w de frutas e vegetais. Adicionalmente, pode melhorar a qualidade sensorial, devido à concentração de componentes naturalmente presentes e também pela incorporação de sólidos. Reduz alterações na cor, textura, aroma, constituintes nutricionais e na retenção de voláteis do alimento, uma vez que o processo ocorre em baixas temperaturas (YADAV; SINGH, 2012; ESCHER; COELHO; CHRIST, 2016).

A diminuição da a_w promovida durante o processo não é suficiente para promover a estabilidade microbiana do alimento. Por isto, ela deve ser utilizada como pré-tratamento em combinação com outras tecnologias, como a secagem convectiva, secagem a vácuo, congelamento ou liofilização (PERUSSELLO; MARIANI; AMARANTE, 2014; ZHAO et al., 2014; MAHDAVI et al., 2016; RAMYA; JAIN, 2016).

A DO é caracterizada pela imersão de um alimento em uma solução hipertônica, contendo um ou mais solutos, promovendo a desidratação parcial, devido a diferença de pressão osmótica. Nesta etapa são estabelecidos dois fluxos contracorrentes principais: a difusão da água para a solução e a transferência de solutos para a matriz alimentícia (FIGURA 1).

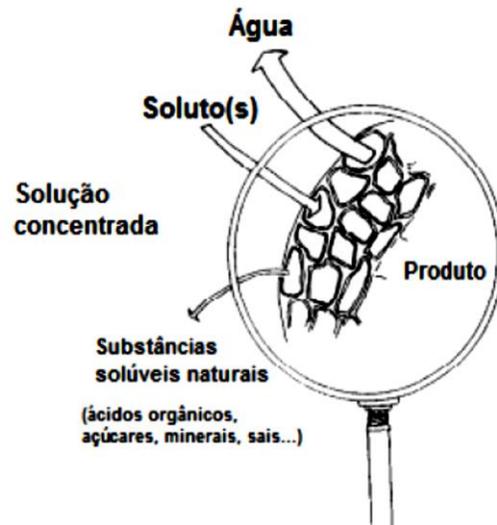


Figura 1 Esquema da transferência de massa no processo de desidratação osmótica.

Fonte: (TORREGGIANI, 1993).

Um terceiro fluxo é ocasionado pela lixiviação de solutos naturalmente presentes no alimento. As membranas celulares não são totalmente seletivas, portanto, resultam na migração destes solutos para a solução osmótica. Esse fluxo não é quantitativamente significativo, mas pode interferir negativamente na qualidade nutricional, devido a lixiviação de vitaminas e minerais, bem como na qualidade sensorial, devido a perdas de açúcares e ácidos (TORREGGIANI, 1993; YADAV; SINGH, 2012; RAMYA; JAIN, 2016).

As principais vantagens da DO como pré-tratamento são: evitar os danos pelo uso de calor demasiado em processos que utilizam ar quente como secagem, bloqueio de reações enzimáticas e oxidativas, diminuição do consumo de energia por iniciar o processo de secagem com teor de umidade menor que o teor de umidade do material fresco. A DO também preserva grande parte das características dos alimentos frescos, tais como cor, textura e aroma (MORENO et al., 2011). Outra possibilidade é o desenvolvimento de formulações

específicas de produtos, alterando propriedades nutricionais e/ou funcionais, através da incorporação de solutos (TORREGGIANI, 1993).

A DO de tomates pode ser considerada um método eficaz na manutenção da qualidade do produto. A remoção de água sem mudança de fase gera danos mínimos na cor, textura e sem afetar significativamente o teor de carotenoides (HEREDIA; BARRERA; ANDRE, 2007; TONON; BARONI; HUBINGER, 2007).

2.2.1 Variáveis do processo

Diversos fatores inerentes à DO podem afetar os fluxos de massa e alterar as propriedades estruturais e de transporte do alimento. São eles, composição e concentração do meio osmótico, relação solução/produto, agitação, temperatura, e tempo total do processo (TORTOE, 2010).

A escolha do agente osmótico é baseada principalmente na capacidade de favorecer a perda de água. Além disto, ele deve reduzir a a_w , ter alta solubilidade em água, baixo custo e ter efeito positivo sobre as propriedades sensoriais e nutricionais (AZOUBEL; MURR, 2004).

Os agentes osmóticos comumente utilizados são os açúcares, tais como sacarose, maltodextrina e glicose, principalmente para frutas, e o cloreto de sódio, para legumes. A mistura destes agentes osmóticos também é utilizada (VASCONCELOS et al., 2012; YADAV; SINGH, 2012).

Existem duas situações que podem ocorrer na DO: a predominância da perda de água, causada principalmente pelo uso de solutos de alto peso molecular, e a predominância da impregnação, devido ao uso de solutos com baixo peso molecular (RAOULT-WACK, 1994). Portanto, é necessário atingir uma condição ideal na qual ocorra maior perda de água e menor ganho de sólidos (CORRÊA et al., 2010).

A DO é um processo no qual a remoção de água ocorre pelo gradiente de pressão osmótica entre o alimento e a solução hipertônica, sendo ela binária ou ternária (MERCALI et al., 2011). Soluções ternárias de cloreto de sódio-sacarose-água são recomendadas no pré-tratamento osmótico devido à sua alta eficiência na remoção de água e sua limitada absorção de solutos (HEREDIA; BARRERA; ANDRE, 2007). MERCALI et al. (2011) observaram que a difusividade efetiva do cloreto de sódio foi menor quando se utilizou maiores concentrações de sacarose, mostrando que existe um caráter interativo desses dois solutos na DO.

Outro fator que influencia na desidratação osmótica é a concentração da solução desidratante, que está relacionada com a difusão da água e do soluto no alimento, além de contribuir com as mudanças no valor nutritivo e nas propriedades sensoriais. De forma geral, o aumento da concentração da solução acarreta no aumento da perda de água e ganho de sólidos, devido ao aumento do gradiente osmótico existente entre o alimento e a solução (RAOULT-WACK, 1994; CORRÊA et al., 2010). Além disto, soluções concentradas diminuem a lixiviação de componentes hidrossolúveis do alimento. No entanto, pode ocorrer formação de uma camada de soluto na superfície do alimento que dificultaria a incorporação de solutos, reduzindo o ganho de sólidos (TONON; BARONI; HUBINGER, 2007; FERRARI et al., 2011). CORRÊA et al. (2010) observaram que a perda de água foi favorecida quando utilizaram soluções mais concentradas de sacarose na desidratação osmótica de goiabas.

O aumento da temperatura causa maiores taxas de transferência de massa, devido, principalmente, ao aumento da permeabilidade das membranas e também à redução da viscosidade da solução osmótica (VIANA; CORRÊA; JUSTUS, 2014). Entretanto, o uso de temperaturas elevadas pode ocasionar alterações indesejáveis nos tecidos do alimento, provocando a descaracterização do produto e também alterando as propriedades sensoriais e nutricionais.

No que diz respeito à proporção de alimento/solução, é interessante que esta seja otimizada para garantir melhores taxas de transferência de massa e também por razões ambientais e econômicas. Tal proporção deve ser o suficiente para evitar a diluição indesejável do meio, o que levaria a uma diminuição na força motriz de transferência de massa ao longo do processo (HEREDIA et al., 2012).

A DO é mais rápida nos alimentos quando a solução é submetida a agitação. Isto acontece devido ao contato contínuo do alimento com a solução concentrada, mantendo um gradiente osmótico alto na interface alimento/produto (TORTOE, 2010). A diluição que ocorre na zona de contato entre o alimento e a solução é eliminada com a agitação, melhorando a taxa de remoção de água. O processo de agitação é uma boa alternativa para aumentar a transferência de massa, porém, para alimentos mais sensíveis ela deve ser utilizada com cautela, pois pode causar danos ao produto (YADAV; SINGH, 2012).

De forma geral, as maiores taxas de transferência de massa na DO ocorrem nas primeiras duas horas do processo. Após este período, há uma diminuição significativa da transferência de água do produto para a solução, enquanto o ganho de sólido ainda pode ocorrer, porém, em menor proporção (TORREGGIANI, 1993; MERCALI et al., 2011).

2.3 Desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD)

Uma alternativa para melhorar as taxas de transferência de massa na DO é a aplicação de pulso de vácuo no início do (FITO, 1994; CORRÊA et al., 2010).

A desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) consiste na aplicação de uma condição sub-atmosférica no início da DO por um curto período de tempo, sendo, posteriormente, a pressão reestabelecida prosseguindo

o processo (DENG; ZHAO, 2008). Isto promove a redução da pressão do sistema, acarretando na liberação dos gases oclusos nos poros do alimento. Ao se restaurar a pressão atmosférica, ocorre a penetração da solução osmótica pela estrutura porosa formada. O aumento da área de contato entre o alimento e a solução osmótica favorece a remoção de água e a incorporação de solutos. A liberação de gases ou líquidos oclusos pela diferença de pressão é o que caracteriza o mecanismo hidrodinâmico (HDM) (FIGURA 2) (FITO, 1994).

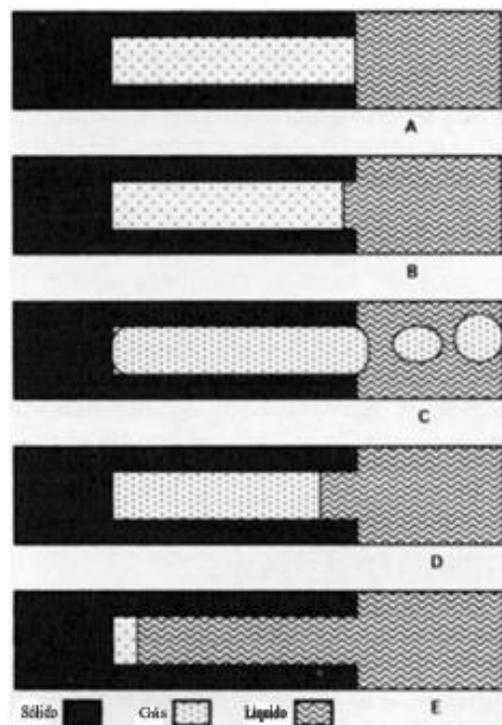


Figura 2 Representação do efeito da aplicação de pulso de vácuo na DO.
Fonte: (FITO, 1994).

O uso da PVOD melhora a transferência de massa, influenciando diretamente em variáveis como perda de água e ganho de sólidos (VIANA; CORRÊA; JUSTUS, 2014). Corrêa et al. (2010) observaram um aumento na perda de água de fatias de goiabas submetidas à PVOD, devido ao

preenchimento dos poros formados com solução osmótica. A PVOD proporcionou um aumento da área de contato disponível para a transferência de massa. Eles observaram também que como o aumento da área de contato entre o alimento e a solução ocorreu maior incorporação de sólidos quando comparado a DO à pressão atmosférica.

2.4 Secagem

Existem várias técnicas que são utilizadas para reduzir as perdas de alimentos e estender a vida útil dos produtos. Dentre elas, a secagem é uma das mais antigas, simples e amplamente utilizada como método de preservação de alimentos.

A secagem é uma operação unitária que tem como objetivo a remoção da umidade de um material até um teor que assegure a estabilidade microbiana e minimize alterações químicas e físicas do alimento. Ela também reduz a massa do alimento impactando diretamente nos custos com transporte e armazenamento (HORUZ; MASKAN, 2013).

De forma geral a secagem é dividida em três períodos ao longo do processo, de acordo com a evolução das transferências de calor e de massa. Inicialmente, ocorre o período de indução, passando pelo período de taxa constante e, por fim, pelo período de taxa decrescente de secagem (PARK et al., 2014). Na Figura 3 está representada a evolução temporal da umidade (X_b), da taxa de secagem (dX/dt), e da temperatura (T) do produto, para um processo utilizando ar com propriedades constantes.

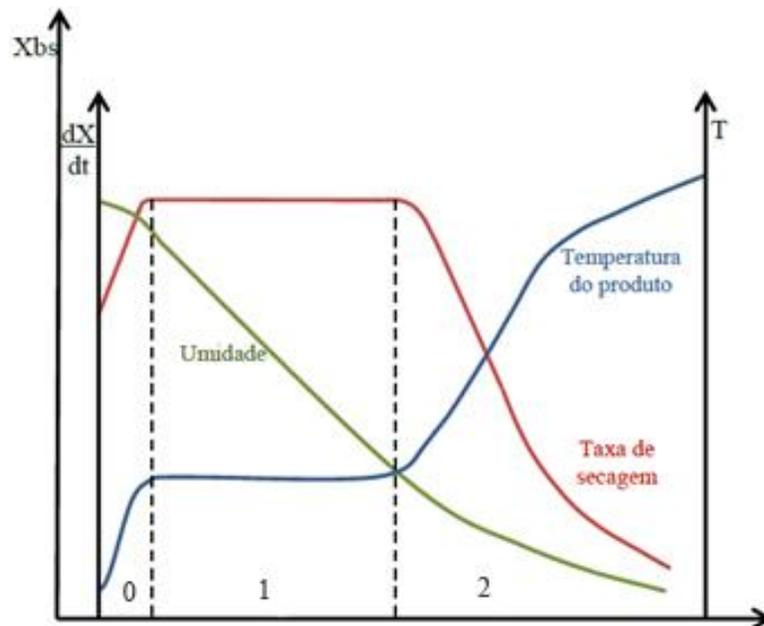


Figura 3 Curvas típicas de secagem, onde X_{bs} é a evolução da umidade, $\frac{dX}{dt}$ é a taxa de secagem e T a temperatura do produto. A região 0 corresponde ao período de indução, 1 ao período de taxa constante e 2 ao período de taxa decrescente.

Fonte (PARK et al., 2014).

No início do processo de secagem, representado na Figura 3 pelo tempo, o alimento se encontra em uma temperatura inferior ao ar de secagem. Com a exposição ao ar quente, a temperatura do alimento aumenta, acarretando no aumento da pressão de vapor e da velocidade de secagem. Isto ocorre até que a transferência de calor compense exatamente a transferência de massa. Este ajuste inicial é chamado de fase de adequação e a duração deste período é insignificante em relação ao período total de secagem (STRUMILLO, 1986; CHEN, XIAO DONG; MUJUMDAR, 2008).

No período seguinte, denominado período de taxa constante, a temperatura da superfície alcança a temperatura de equilíbrio. Nesta etapa, o alimento contém grande quantidade de água disponível para evaporação, como

água livre presente na superfície do material. A taxa de evaporação é diretamente dependente da transferência do calor fornecida para o material que está sendo seco, portanto a taxa de secagem é constante. Esse período continua até que a migração de água do interior até a superfície do produto seja suficiente para acompanhar a perda de água por evaporação na superfície (STRUMILLO, 1986; CHEN, XIAO DONG; MUJUMDAR, 2008).

No período de taxa decrescente de secagem, representado na Figura 3 pelo tempo 2, a quantidade de água presente na superfície do alimento diminui e, conseqüentemente, a taxa de secagem também diminui. A temperatura do alimento aumenta devido a troca de calor não ser mais compensada pela transferência de massa. No final deste período o produto estará em equilíbrio com o ar e a taxa de secagem tende a zero (STRUMILLO, 1986; CHEN, XIAO DONG; MUJUMDAR, 2008).

2.5 Secagem de tomates

O consumo de tomate seco está crescendo no Brasil devido sua funcionalidade e a possibilidade de utilizá-lo em diferentes pratos. A produção tem sido feita por pequenos produtores e em equipamentos artesanais, exigindo a importação desse produto para atender parte da demanda nacional (ESCHER; COELHO; CHRIST, 2016).

Os consumidores estão cada dia mais exigentes quanto a qualidade nutricional e sensorial dos produtos processados. Isto tem sido um estímulo para as indústrias otimizarem seus processos a fim de manter as propriedades nutricionais e sensoriais dos produtos próximo ao natural (HEREDIA; BARRERA; ANDRE, 2007; RIBEIRO; AGUIAR-OLIVEIRA; MALDONADO, 2016).

Na secagem de tomates algumas alterações indesejáveis podem ocorrer, como alteração na cor, diminuição da sua qualidade nutricional, sensorial e no

valor de comercialização. Portanto, a secagem de tomates deve ser realizada impactando ao mínimo a qualidade do final produto (PURKAYASTHA et al., 2013).

Abano, Ma e Qu (2011) investigaram o efeito da temperatura do ar quente sobre o conteúdo de licopeno, o escurecimento não enzimático, teor de licopeno e sabor durante a secagem a várias temperaturas na gama de 50-80°C. Eles observaram que o tempo de secagem reduzia à medida que a temperatura do ar aumentava. Além disto, o escurecimento não enzimático e o teor de licopeno aumentaram com o aumento da temperatura. O sistema nariz eletrônico utilizado indicou a degradação do sabor de todas as amostras secas em comparação com os tomates frescos. O coeficiente de difusividade de umidade efetiva aumentou com o aumento da temperatura de secagem.

2.6 Redução de sódio em alimentos processados

É indiscutível a importância do sódio para o metabolismo humano, pois ele participa dos mecanismos que regulam a pressão sanguínea, o transporte de água intracelular, a pressão osmótica e a transmissão dos impulsos nervosos. Além disso, a carência de sódio pode afetar negativamente o sistema nervoso e muscular (CRUZ et al., 2011).

Porém, estudos epidemiológicos têm indicado que a ingestão excessiva de cloreto de sódio possui associação positiva com a pressão arterial e hipertensão, e está diretamente relacionada como o desenvolvimento de doença cardiovascular (WHO, 2011). Com isto, a demanda por produtos com menores teores de sódio, tem sido exigido por parte dos consumidores, que se preocupam com o consumo excessivo do cloreto de sódio (SOGLIA et al., 2014).

De modo a acompanhar a tendência da substituição ou redução no teor de cloreto de sódio, a indústria de alimentos tem sido estimulada a desenvolver

novos processamentos que mantenham as qualidades sensoriais e a segurança (ALBARRACÍN et al., 2011).

Corrêa; Ernesto e Mendonça (2016) realizaram um estudo sobre a influência de duas diferentes soluções osmóticas ternárias (sacarose/cloreto de sódio e maltodextrina/cloreto de sódio) e aplicações de pulso de vácuo na incorporação de sódio por tomates desidratados. Eles observaram que a incorporação de sódio foi significativamente reduzida, aproximadamente 50%, quando se utilizou o pulso de vácuo no processo osmótico, independente da solução osmótica utilizada. Com isto, faz-se necessário mais pesquisas envolvendo o pulso de vácuo e a incorporação de sódio, já que, comumente, nesse processo, ocorre o aumento na absorção de solutos, o que não foi observado.

REFERÊNCIAS

- ABANO, E. E.; MA., H.; QU, W. Influence of air temperature on the drying kinetics and quality of tomato slices. **Journal of Food Processing & Technology**, v. 2, n. 5, p. 1–9, 2011.
- AHMED, I.; QAZI, I. M.; JAMAL, S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 29-43, 2016.
- AL-MUHTASEB, A. H.; AL-HARAHSEH, M.; HARARAH, M.; MAGEE, T. R. A. 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, 2010.
- ALBARRACÍN, W.; SÁNCHEZ, I. C.; GRAU, R.; BARAT, J. M. Salt in food processing usage and reduction: A review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 7, p. 1329-1336, 2011.
- AN, K.; DING, S.; HONGYANTAO; ZHAO, D.; WANG, X.; WANG, Z.; HU, X. Response surface optimisation of osmotic dehydration of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) slices. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 28–34, 2013.
- AOAC, I. **Official methods of analysis of aoac international**. [s.l: s.n.]
- AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 291–295, 2004.
- CHAKRABORTY, N.; CHAKRABORTY, R.; SAHA, A. K. Dehydration of kiwi fruit (*Actinidia deliciosa*) by consecutive osmotic dehydration and freeze-drying. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 9, n. 28, 2016.

CHEN, XIAO DONG; MUJUMDAR, A. S. . **Drying technologies in food processing**. Oxford: John Wiley & Sons, 2008.

CORRÊA, J. L. G.; ERNESTO, D. B.; ALVES, J. G. L. F.; ANDRADE, R. S. Optimisation of vacuum pulse osmotic dehydration of blanched pumpkin. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 9, p. 2008-2014, 2014.

CORRÊA, J. L. G.; ERNESTO, D. B.; MENDONÇA, K. S. de. Pulsed vacuum osmotic dehydration of tomatoes: Sodium incorporation reduction and kinetics modeling. **Food Science and Technology**, v. 71, p. 17–24, 2016.

CORRÊA, J. L. G.; PEREIRA, L. M.; VIEIRA, G. S.; HUBINGER, M. D. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 4, p. 498-504, 2010.

CORRÊA, J. L. G.; VIANA, A. D.; MENDONÇA, K. S. de; JUSTUS, A. Optimization of pulsed vacuum osmotic dehydration of sliced tomato. In: **Drying and Energy Technologies**. [s.l.] Springer International Publishing, 2016. p. 207–228.

CORTÉS-OLMOS, C.; LEIVA-BRONDO, M.; ROSELLÓ, J.; RAIGÓN, M. D.; CEBOLLA-CORNEJO, J. The role of traditional varieties of tomato as sources of functional compounds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 14, p. 2888–2904, 2014.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. [s.l.: s.n.]
CRUZ, A. G.; FARIA, J. a F.; POLLONIO, M. a R.; BOLINI, H. M. a;
CELEGHINI, R. M. S.; GRANATO, D.; SHAH, N. P. Cheeses with reduced sodium content: Effects on functionality, public health benefits and sensory properties. **Trends in Food Science and Technology**, v. 22, p. 276–291, 2011.

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, 2008.

DEROSSI, A.; SEVERINI, C.; MASTRO, a Del; PILLI, T. De. Study and optimization of osmotic dehydration of cherry tomatoes in complex solution by response surface methodology and desirability approach. **Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 641–648, 2015.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4214–219, 1980.

DOYMAZ, İ. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. **Heat and Mass Transfer**, p. 1–11, 2016.

DOYMAZ, I.; ÖZDEMİR, Ö. Effect of air temperature, slice thickness and pretreatment on drying and rehydration of tomato. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 2, p. 558–564, 2014.

EMBRAPA. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tomate/Abertura.html>>. Acesso em: 26 jan. 2017.

ESCHER, G. B.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D. Optimization of osmo-Convective dehydration process for dry tomato production. **Journal of Food Processing and Preservation**, p. 1-10, 2016.

FAAL, S.; TAVAKOLI, T.; GHOBADIAN, B. Mathematical modelling of thin layer hot air drying of apricot with combined heat and power dryer. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 5, p. 2950–2957, 2014.

FAO. FAOSTAT – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 26 dez. 2016.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v. 39, n. 4, p. 492–498, 2006.

FERRARI, C. C.; ARBALLO, J. R.; MASCHERONI, R. H.; HUBINGER, M. D. Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 1, p. 436-443, 2011.

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

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, v. 58, p. 33-43, 2003.

HEREDIA, A.; BARRERA, C.; ANDRE, 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, 2007.

HEREDIA, A.; PEINADO, I.; ROSA, E.; ANDRÉS, A.; ESCRICHE, I. Volatile profile of dehydrated cherry tomato: Influences of osmotic pre-treatment and microwave power. **Food Chemistry**, v. 130, n. 4, p. 889–895, 2012.

HORUZ, E.; MASKAN, M. Hot air and microwave drying of pomegranate (*Punica granatum L.*) arils. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 285–293, 2013.

KNOCKAERT, G.; PULISSERY, S. K.; COLLE, I.; VAN BUGGENHOUT, S.; HENDRICKX, M.; LOEY, A. Van. Lycopene degradation, isomerization and in vitro bioaccessibility in high pressure homogenized tomato puree containing oil: Effect of additional thermal and high pressure processing. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1290–1297, 2012.

KOWALSKI, S. J.; SZADZIŃSKA, J.; ŁECHTAŃSKA, J. Non-stationary drying of carrot: Effect on product quality. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 4, p. 393–399, 2013.

LEWICKI, P. P.; VU LE, H.; POMARAŃSKA-ŁAZUKA, W. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 2, p. 141–146, 2002.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; DEHNAD, D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, n. 1, p. 379–385, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. [s.l: s.n.]
MAYOR, L.; SERENO, a. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 373–386, 2004.

MERCALI, G. D.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C.; NOREÑA, C. P. Z. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). **Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 82–91, 2011.

MORENO, J.; SIMPSON, R.; SAYAS, M.; SEGURA, I.; ALDANA, O.; ALMONACID, S. Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv . Packham's Triumph). **Journal of Food Engineering**, v. 104, n. 4, p. 621–627, 2011.

MUNDADA, M.; SINGH, B.; MASKE, S. Optimization of processing variables affecting the osmotic dehydration of pomegranate arils. **Food Science and Technology**, v. 45, p. 1732–1738, 2010.

NADERINEZHAD, S.; ESTESAMI, B.; NAJAFABADY, A. P. Mathematical modeling of drying of potato slices in a forced convective dryer based on important parameters. **Food Science & Nutrition**, v. 4, n. 1, p. 110–118, 2015.

PARK, B. K. J.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; MARIA, I.; DEL FABBRO, I. M. Secagem: fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, p. 93–126, 2014.

PERUSSELLO, C. A.; KUMAR, C.; CASTILHOS, F.; KARIM, M. A. Heat and mass transfer modeling of the osmo-convective drying of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). **Applied Thermal Engineering**, v. 63, n. 1, p. 23–32, 2014.

PERUSSELLO, C. A.; MARIANI, V. C.; AMARANTE, Á. C. C. Do. Thermophysical properties of okara during drying. **International Journal of Food Properties**, v. 17, n. 4, p. 891–907, 2014.

PURKAYASTHA, M. Das; NATH, A.; DEKA, B. C.; MAHANTA, C. L. Thin layer drying of tomato slices. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 4, p. 654, 2013.

RAMALLO, L. A.; HUBINGER, M. D.; MASCHERONI, R. H. Effect of pulsed vacuum treatment on mass transfer and mechanical properties during osmotic dehydration of pineapple slices. **International Journal of Food Engineering**, v. 9, n. 4, p. 403–412, 2013.

RAMYA, V.; JAIN, N. K. A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: An integrated approach. **Journal of Food Process Engineering**, p. 1–22, 2016.

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

RIBEIRO, A. S. da C.; AGUIAR-OLIVEIRA, E.; MALDONADO, R. R. Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality. **Food Science and Technology**, v. 72, p. 407-415, 2016.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 3. ed. [s.l: s.n.]

SADIN, R.; CHEGINI, G. R.; SADIN, H. The effect of temperature and slice thickness on drying kinetics tomato in the infrared dryer. **Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung**, v. 50, n. 4, p. 501–507, 2014.

SAGAR, V. R.; SURESH KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 15-26, 2010.

SERENO, A. M.; 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, 2001.

SOGLIA, F.; PETRACCI, M.; MUDALAL, S.; VANNINI, L.; GOZZI, G.; CAMPRINI, L.; CAVANI, C. Partial replacement of sodium chloride with potassium chloride in marinated rabbit meat. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 49, n. 10, p. 2184-2191, 2014.

SOUZA, J. S.; MEDEIROS, M. F. D.; MAGALHÃES, M. M. a; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. a N. 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, 2007.

STRUMILLO, C. **Drying: principles, applications, and design**. 3. ed. [s.l.: s.n.]

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos- ACO**CampinasNEPA-UNICAM, , 2011.

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. 1, p. 509–517, 2007.

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

TORTOE, C. A review of osmodehydration for food industry. **African Journal of Food Science**, v. 4, n. 6, p. 303–324, 2010.

VASCONCELOS, J. I. L. A.; ANDRADE, S. A. C.; MACIEL, M. I. S.; GUERRA, N. B.; VASCONCELOS, M. . S. 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.

VIANA, A. D.; CORRÊA, J. L. G.; JUSTUS, A. Optimisation of the pulsed vacuum osmotic dehydration of cladodes of fodder palm. **Food Science and Technology**, n. 49, p. 726–732, 2014.

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 and Technology**, v. 47, n. 1, p. 132–140, 2012.

WHO, W. H. O. **Review and updating of current WHO recommendations on salt/sodium and potassium consumption**. Disponível em: <http://www.who.int/nutrition/events/NUGAG_dietandhealth_subgroup_call_public_comment_scope_of_Na_K.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2015.

YADAV, A. K.; SINGH, S. V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 1–20, 2012.

ZHAO, J. H.; HU, R.; XIAO, H. W.; YANG, Y.; LIU, F.; GAN, Z. L.; NI, Y. Y. Osmotic dehydration pretreatment for improving the quality attributes of frozen mango: Effects of different osmotic solutes and concentrations on the samples. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 4, p. 960–968, 2014.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1 - Influência do pulso de vácuo na incorporação de sódio durante a desidratação osmótica de tomates em soluções ternárias

RESUMO

A desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) é uma técnica eficaz na obtenção de alimentos parcialmente desidratados, além de diminuir a incorporação de sólidos. Os efeitos da pressão absoluta (160 – 660 mm Hg), tempo de aplicação de vácuo (5 – 15 min) e atividade de água da solução (0.893 – 0.943) sobre a incorporação de sódio (INa), perda de água (PA), redução de peso (RP) de discos de tomates osmoticamente desidratados foram avaliados através de um delineamento composto central rotacional (DCCR). No processo, foi utilizada solução ternária composta por sacarose e cloreto de sódio. O aumento no tempo de aplicação do vácuo provoca um aumento na INa, PA e RP, porém, não foi estatisticamente significativo no processo. Verificou-se que a redução na atividade de água da solução, e a diminuição da pressão absoluta, foram influentes na redução da INa e no aumento da PA e da RP. As condições ótimas do processo foram pressão absoluta de 627,5 mm Hg, tempo de vácuo de 15 minutos e a_w da solução de 0,903, que conduziram a maior PA e RP e mínimo INa, com 30,59%, 24,69% e 63,14 g/kg respectivamente.

Palavras-chave: Sódio em alimentos processados. Tomate desidratado. Otimização.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de tomates está associado a diversos benefícios à saúde devido a presença de substâncias funcionais como vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos (CORTÉS-OLMOS et al., 2014). O tomate (*Solanum lycopersicum*) é o vegetal mais produzido no Brasil. Porém, cerca de 10% da

produção total é desperdiçada (FAO, 2013). Logo, é importante utilizar técnicas visando a conservação e a extensão da vida útil dos tomates.

A desidratação osmótica (DO) é uma técnica utilizada como um pré-tratamento a outras tecnologias como secagem convectiva, liofilização, congelamento (PERUSSELLO et al., 2014; ZHAO et al., 2014; CHAKRABORTY; CHAKRABORTY; SAHA, 2016). Tem como vantagens a minimização de perdas de nutrientes, a melhoria nas características sensoriais do produto e a redução de custos energéticos (AHMED; QAZI; JAMAL, 2016). Nesse processo, o produto é imerso em uma solução hipertônica, onde ocorre um fluxo de água do produto para a solução e uma migração de soluto da solução para o produto (TORREGGIANI, 1993).

A sacarose e o cloreto de sódio são os solutos mais utilizados em processos de DO, e estudos demonstram que a combinação destes com soluções ternárias, apresentam efeito sinérgico, sendo mais eficazes na remoção de água (HEREDIA; BARRERA; ANDRE, 2007; YADAV; SINGH, 2012).

O consumo excessivo de cloreto de sódio tem apresentado implicações graves à saúde pública. Portanto, a redução do teor de sódio em alimentos processados já é uma necessidade (ALBARRACÍN et al., 2011). Isto serve de estímulo para otimizar e/ou melhorar processos que reduzam o ganho de sólidos em geral, inclusive o ganho de sódio.

A DO pode ser realizada à pressão atmosférica ou pela aplicação do vácuo (PVOD). O vácuo promove a remoção de gases internos presentes no alimento, permitindo a entrada da solução osmótica através do mecanismo hidrodinâmico (HDM) (FITO, 1994; CORRÊA et al., 2016).

O uso do pulso de vácuo no início da DO promove maior transferência de massa, maior perda de água e ganho de sólidos, devido ao aumento da área de contato entre a solução osmótica e o alimento (CORRÊA et al., 2014). Paralelamente, Ernesto, Mendonça e Corrêa (2016) observaram que a

incorporação de sódio pode ser reduzida ao se utilizar a PVOD com soluções ternárias de cloreto de sódio.

O objetivo do presente trabalho foi investigar o efeito do pulso de vácuo, tempo de aplicação de vácuo e atividade de água da solução osmótica, na incorporação de sódio e parâmetros de transferência de massa de tomates desidratados osmoticamente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Os tomates (*Lycopersicon esculentum*) cv. Carmem foram adquiridos no comércio local (Lavras - MG, Brasil) e classificados visualmente quanto a cor (vermelho brilhante), firmeza, tamanho e ausência de danos físicos.

Foi realizada a composição centesimal para caracterização da matéria prima sem as sementes, em relação ao teor de água, cinzas, lipídios, proteínas, fibras (AOAC, 2005) apresentando $94,46 \pm 0,32$ kg/100kg, $0,02 \pm 0,005$ kg/100kg, $0,03 \pm 0,01$ kg/100kg, $0,5 \pm 0,02$ kg/100kg $0,3 \pm 0,05$ kg/100kg, respectivamente. As determinações foram feitas em quadruplicata e o valor médio foi apresentado, em base úmida. Os resultados são semelhantes aos apresentados pela Tabela de Composição Química de Alimentos (TACO, 2011), porém, com algumas variações, que podem ser explicadas pela remoção das sementes e pela variação oriundas do próprio fruto e do cultivo.

Além disto, a a_w dos frutos frescos foram $0,994 \pm 0,003$ e parâmetros de cor L^* , a^* e b^* para pele e polpa foram $41,13 \pm 1,33$, $21,80 \pm 0,81$ e $27,19 \pm 2,86$ e $43,25 \pm 2,75$, $20,92 \pm 5,42$, $17,56 \pm 2,58$, respectivamente.

2.2 Preparação das amostras e da solução osmótica

Os tomates foram lavados com água corrente e sua superfície secada com papel absorvente. Os frutos foram cortados em metades e suas sementes foram removidas. Com o auxílio de um molde de aço inoxidável, foram obtidos discos de tomates com 3,0 cm de diâmetro e espessura determinados pelo fruto ($6,87 \pm 0,80$ mm). A pele do tomate foi mantida, pois é onde se encontra o maior teor de licopeno, sendo que a concentração pode ser de até cinco vezes mais elevada do que a concentração na polpa (HEREDIA et al., 2012).

A solução ternária foi preparada com água destilada, sacarose e cloreto de sódio comercial. A concentração de sacarose das soluções foi ajustada de acordo com o planejamento experimental, com base na atividade da água das soluções. A proporção de cloreto de sódio foi mantida fixa em 5%.

2.3 Desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD)

A desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) foi realizada num desidratador osmótico com controle de temperatura e pressão (BIASINOX LTDA). As experiências foram realizadas numa relação alimento: solução de 1:20 (m/m) a fim de evitar diluição da solução durante o processo de osmose (CORRÊA et al., 2014). A duração total do tratamento foi de 120 minutos com aplicação de pulso de vácuo nos primeiros minutos do processo, definidos com base em testes preliminares. As pressões absolutas bem como o tempo de aplicação de vácuo variaram de acordo com o planejamento experimental obtido. A temperatura utilizada foi de 30°C para todos os experimentos. Subsequentemente, desidratação osmótica foi conduzida à pressão atmosférica até ao final do processo.

2.4 Planejamento experimental

As condições experimentais foram definidas de acordo com um planejamento composto central rotacional (DCCR) (RODRIGUES; IEMMA, 2014). O design experimental incluiu 17 experimentos, sendo 3 pontos centrais, 6 pontos axiais e um fatorial completo 2^3 (TABELA 2). As variáveis independentes foram: pressão absoluta, tempo de aplicação de vácuo e atividade de água da solução. As variáveis dependentes foram incorporação de sódio (INa), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), redução de peso (RP) e atividade de água do produto final (a_{wpt}).

Tabela 2 Matriz do delineamento composto central rotacional de PVOD de discos de tomates, com as variáveis independentes: pressão absoluta (P_{abs}), tempo de vácuo (TV) e atividade de água da solução a_w .(continua)

Teste	P_{abs} (X_1) (mm Hg)	TV (X_2) (min)	a_w (X_3)
1	260 (-1)	7 (-1)	0,903 (-1)
2	260 (-1)	7 (-1)	0,932 (+1)
3	260 (-1)	13 (+1)	0,903 (-1)
4	260 (-1)	13 (+1)	0,932 (+1)
5	560 (+1)	7 (-1)	0,903 (-1)
6	560 (+1)	7 (-1)	0,932 (+1)
7	560 (+1)	13 (+1)	0,903 (-1)
8	560 (+1)	13 (+1)	0,932 (+1)
9	160 (-1,68)	10 (0)	0,918 (0)
10	660 (+1,68)	10 (0)	0,918 (0)
11	410 (0)	5 (-1,68)	0,918 (0)
12	410 (0)	15 (+1,68)	0,918 (0)

13	410 (0)	10 (0)	0,893 (-1,68)
Teste	$P_{abs} (X_1)$ (mm Hg)	$TV (X_2)$ (min)	$a_w (X_3)$
14	410 (0)	10 (0)	0,943 (+1,68)
15	410 (0)	10 (0)	0,918 (0)
16	410 (0)	10 (0)	0,918 (0)
17	410 (0)	10 (0)	0,918 (0)
(conclusão)			

Modelos estatísticos descrevendo as relações entre as variáveis dependentes do processo e independentes em uma equação de segunda ordem foram desenvolvidos com o auxílio do software Statistica 8.0® de StatSoft, Inc. (Tulsa, OK, USA). A equação geral utilizada para prever o comportamento de cada resposta foi descrita da seguinte forma:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

Onde: Y é o valor predito da variável resposta e x corresponde as variáveis independentes. β_0 representa as constantes do modelo, β_i é o coeficiente linear dos termos, β_{ii} é o coeficiente dos termos quadráticos e β_{ij} é o coeficiente da interação dos termos.

A qualidade de ajuste do modelo foi expressa utilizando a análise de variância (ANOVA), teste-F, coeficiente de correlação e p-valor ($p < 0,05$). Foram utilizados os modelos completos para prever a melhor condição da desidratação osmótica de tomates com pulso de vácuo. Os gráficos tridimensionais de superfície de resposta também foram obtidos.

A otimização de múltiplas respostas foi realizada usando as funções de deseabilidade de acordo com a metodologia proposta por DERRINGER;

SUICH (1980), visando redução da incorporação de sódio e a maximização da perda de água e da redução de peso. Por conseguinte, obteve-se as condições otimizadas do processo de PVOD dos discos de tomate.

Foram obtidas funções de deseabilidade individuais para os valores previstos de cada variável resposta, e a combinação destas funções em uma deseabilidade global (D), normalmente dada pela média geométrica dos n diferentes valores de d_i (EQUAÇÃO 5).

$$D = (d_1 \times d_2 \times d_3 \times \dots \times d_n)^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

Para validação, foram realizados experimentos com a condição ótima obtida, em triplicata, e o resultado comparado com os valores preditos pelos modelos, bem como análise do erro relativo.

2.5 Parâmetros de transferência de massa

O peso das amostras foi utilizado para calcular a perda de água (PA), ganho de sólidos (GS) e redução de peso (RP), dadas pelas Equações 2, 3 e 4:

$$PA(\%) = \frac{X_0^w M_0^0 - X_f^w M_f^0}{M_0^0} \times 100 \quad (2)$$

$$GS(\%) = \frac{X_f^{ST} M_f^0 - X_0^{ST} M_0^0}{M_0^0} \times 100 \quad (3)$$

$$RP(\%) = \frac{M_0^0 - M_f^0}{M_0^0} \times 100 \quad (4)$$

onde: M_0^0 = peso inicial da amostra (kg); M_f^0 = peso final da amostra (kg); X_0^w = umidade inicial da amostra (%); X_f^w = umidade final da amostra (%); X_0^{ST} = teor de sólidos inicial da amostra (%) e X_f^{ST} = teor de sólidos final da amostra (%).

2.6 Análises

O teor de umidade das amostras foi determinado de acordo com o método padrão 934.06 (AOAC, 2005).

A atividade de água foi obtida com o auxílio de um higrômetro (modelo CX- 2T, Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA) em quadruplicata.

A quantificação de sódio foi realizada a partir de amostras de massa seca utilizando a digestão com ácido nítrico e perclórico, e determinadas por espectrometria de absorção atômica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O parâmetro avaliado foi a incorporação de sódio (INa) a partir do início da DO.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os valores das respostas obtidas para INa, PA, GS, RP e a_{wpf} . Os valores obtidos pelos ensaios 15, 16 e 17, nos pontos centrais, mostraram pequenas variações, indicando uma boa reprodutibilidade.

Tabela 3 Valores obtidos das variáveis respostas incorporação de sódio (INa), perda de água (PA), ganho de sólidos (GS), redução de peso (RP) e atividade de água do produto final ($a_{w_{pf}}$). M (continua)

INa (g/kg) x10 ³	PA (%)	GS (%)	RP (%)	$a_{w_{pf}}$
33,94	29,62	,93	22,9	,967
56,04	20,48	,90	13,1	,965
35,55	28,02	,24	22,4	,965
72,12	20,99	,38	14,6	,958
42,20	28,24	,18	22,8	,965
76,76	24,79	,37	15,5	,951
45,03	31,84	,52	26,7	,959
74,32	24,91	,56	19,9	,968
44,43	23,81	,72	17,8	,960
52,80	26,91	,68	21,5	,960
56,32	27,79	,69	22,5	,960
52,43	28,12	,15	21,8	,961

40,51	28,14	,29	23,5	,961
103,96	18,83	,20	13,8	,959
55,71	26,54	,82	22,7	,959
51,53	26,96	,98	20,5	,960
53,69	27,98	,64	22,6	,960

(conclusão)

Com relação ao GS e a a_w do produto final, os modelos estatísticos apresentaram falta de ajuste pois o $F_{tab} > F_{calc}$ e $R^2 < 0,70$. A variável GS foi afetada apenas pela pressão absoluta no seu coeficiente quadrático 0,56. Portanto, apenas os modelos de INa, PA e RP serão apresentados.

Para todas as respostas obtidas o tempo de aplicação de vácuo não apresentou influência significativa no processo (FIGURAS 4, 5 e 6). Ramallo, Hubinger e Mascheroni (2013) também concluíram que não existe uma relação direta entre a duração do pulso de vácuo com a transferência de massa durante a PVOD.

3.1 Perda de água (PA) e redução de peso (RP)

O termo linear da pressão absoluta e o termo linear e quadrático da atividade de água da solução apresentaram influência significativa ($p < 0,05$) na perda de água e na redução de peso dos tomates osmoticamente desidratados. Os resultados estatísticos mostraram que a mudança na atividade de água da solução produzia uma influência sobre a PA e a RP muito maior que o pulso de vácuo (TABELA 4).

Tabela 4 Modelo matemático codificado para a perda de água e redução de peso de tomates desidratados

Modelo	R ²	F _{calc}	Valor p
PA 27,11+1,16X₁-0,50X₁²+0,23X₂+0,41X₂²- 3,08X₃-1,16X₃²+0,59X₁X₂+0,72X₁X₃-0,17X₂X₃	0,95	17,74	0,00
RP 21,96+0,82X₁-0,88X₁²+0,58X₂+0,01X₂²- 3,51X₃- 1,22X₃²+0,90X₁X₂+0,43X₁X₃+0,30X₂X₃	0,94	12,36	0,00

Valores em negrito indicam efeitos estatisticamente significativos ($p < 0,05$), X_1 , X_2 e X_3 correspondem ao valor codificado de pressão absoluta, tempo de aplicação do vácuo e atividade de água da solução osmótica, respectivamente.

Com base na Figura 4, observa-se que maiores PA foram obtidas com soluções de atividade de água reduzida, abaixo de 0,918. O aumento na concentração de soluto leva a diminuição da atividade de água e aumento do gradiente osmótico entre o alimento e a solução, favorecendo a retirada de água (CORRÊA et al., 2010; MUNDADA; SINGH; MASKE, 2010; DEROSI et al., 2015). Em trabalho de desidratação osmótica de tomates em solução ternária (água-sacarose-cloreto de sódio) a a_w da solução osmótica também apresentou efeito significativo sobre a PA (CORRÊA; ERNESTO; MENDONÇA, 2016).

A diminuição na a_w da solução osmótica provocou um efeito negativo na RP, semelhante ao que ocorreu com a PA (TABELA 4), ou seja, a redução da pressão osmótica da solução aumentou a RP (FIGURA 5) (MUNDADA; SINGH; MASKE, 2010). Estes resultados confirmaram que a a_w da solução removeu significativamente o conteúdo de água, impactando no peso final das amostras.

A redução na pressão absoluta promoveu a saída de água da amostra, com uma região ótima entre 185 – 560 mmHg, A mudança estrutural induzida pelo pulso de vácuo no sistema altera as propriedades de permeabilidade dos tecidos favorecendo a remoção de água (GIRALDO et al., 2003). O mesmo efeito foi observado para a RP. Porém, pode-se observar que o efeito da a_w sobre

a PA e a RP é muito mais relevante nestas respostas que a pressão absoluta (FIGURA 4 e 5).

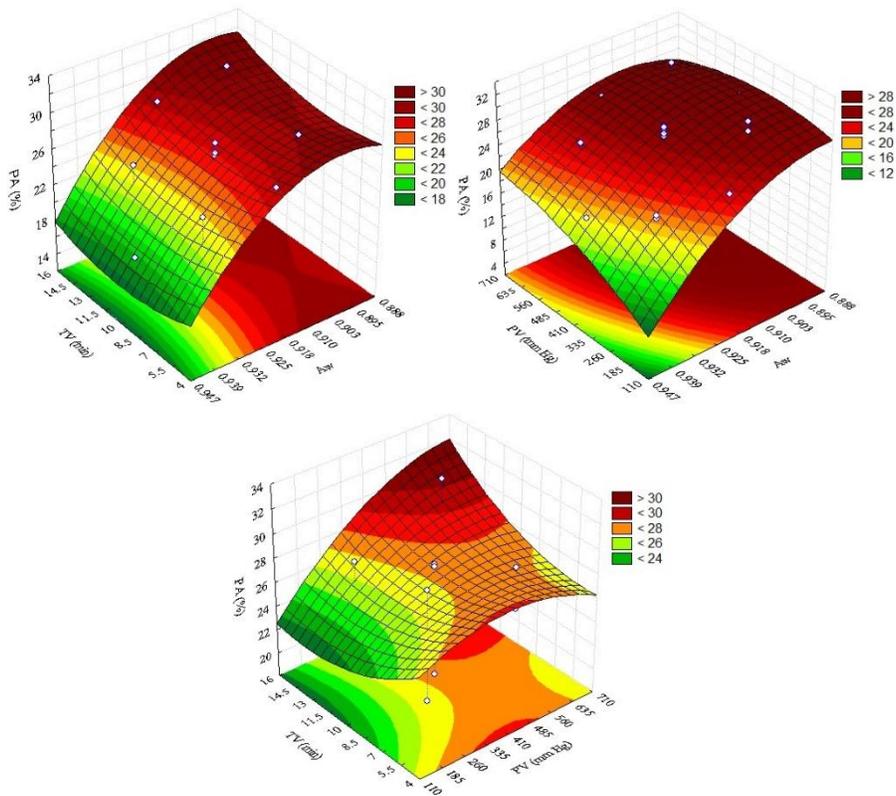


Figura 4 Superfícies de resposta para a PA de discos de tomates submetidos a PVOD.

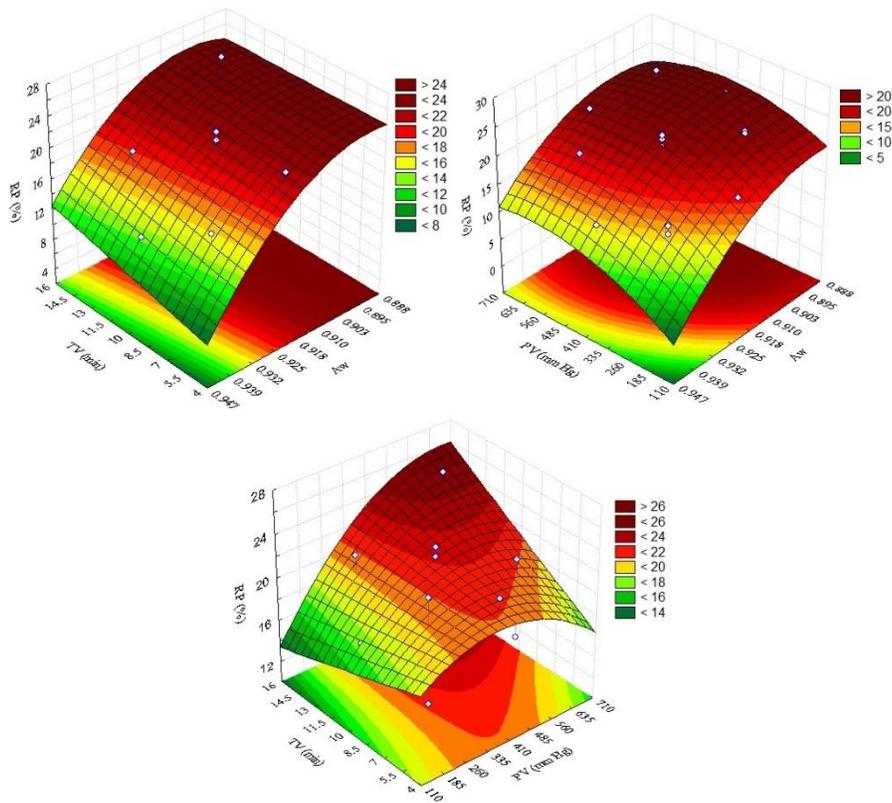


Figura 5 Superfícies de resposta para RP de discos de tomates submetidos a PVOD.

3.2 Incorporação de sódio (INa)

A incorporação de sódio pelas amostras foi calculada desconsiderando o teor de sódio no fruto *in natura*, 0,504 g/kg. De acordo com a Tabela 3, a incorporação de sódio é menor, 40,51 g/kgx10³, quando se utiliza soluções osmóticas com atividade de água reduzida, 0,893, bem como menores valores de pressão absoluta, 260 mmHg.

O modelo matemático codificado para a incorporação de sódio em tomates desidratados é apresentado na Tabela 5. Os valores de R² elevado, Fcal

> F_{tab} (3,86) e o valor p da regressão menor que 0,05, demonstram que o modelo exibe um bom ajuste aos dados experimentais, possibilitando a obtenção de superfície de resposta.

Tabela 5 Modelo matemático codificado para a incorporação de sódio em tomates desidratados por PVOD.

Modelo	R ²	F _{calc}	p-valor
53,91+4,00X₁-2,71X₁²+0,84X₂-0,67X₂²+16,78X₃+5,63X₃²-2,16X₁X₂+0,64X₁X₃+1,14X₂X₃	0,95	17,04	0,00

Valores em negrito indicam efeitos estatisticamente significativos ($p < 0,05$), X_1 , X_2 e X_3 correspondem ao valor codificado de pressão absoluta, tempo de aplicação do vácuo e atividade de água da solução osmótica, respectivamente.

Os termos lineares da pressão absoluta e atividade de água da solução afetaram significativamente a INa ($p \leq 0,05$), bem como o termo quadrático da atividade de água da solução. Além disto, o efeito da atividade de água ($\beta_3 = 16,78$) sobre a INa foi superior ao efeito causado pela pressão absoluta ($\beta_1 = 4,00$). Os demais termos quadráticos bem como a interação entre os termos não foram significativos ($p \leq 0,05$).

A pressão absoluta e a atividade água da solução influenciaram positivamente na incorporação de sódio. Como se objetiva menor INa, é interessante utilizar P_{abs} e valores de a_w reduzidos (FIGURA 6).

A redução da a_w da solução se deu pelo aumento na concentração de sacarose, que pode ter provocado o aumento da viscosidade da solução, aumentando a resistência à transferência de massa e, conseqüentemente, dificultando a incorporação do íon sódio (VIEIRA; PEREIRA; HUBINGER, 2012; AN et al., 2013; DEROSI et al., 2015). Além disso, a molécula de sacarose tem maior tamanho que o íon sódio, podendo constituir uma barreira

física na superfície do alimento, o que dificultaria a INa (SERENO; MOREIRA; MARTINEZ, 2001; HEREDIA; BARRERA; ANDRE, 2007).

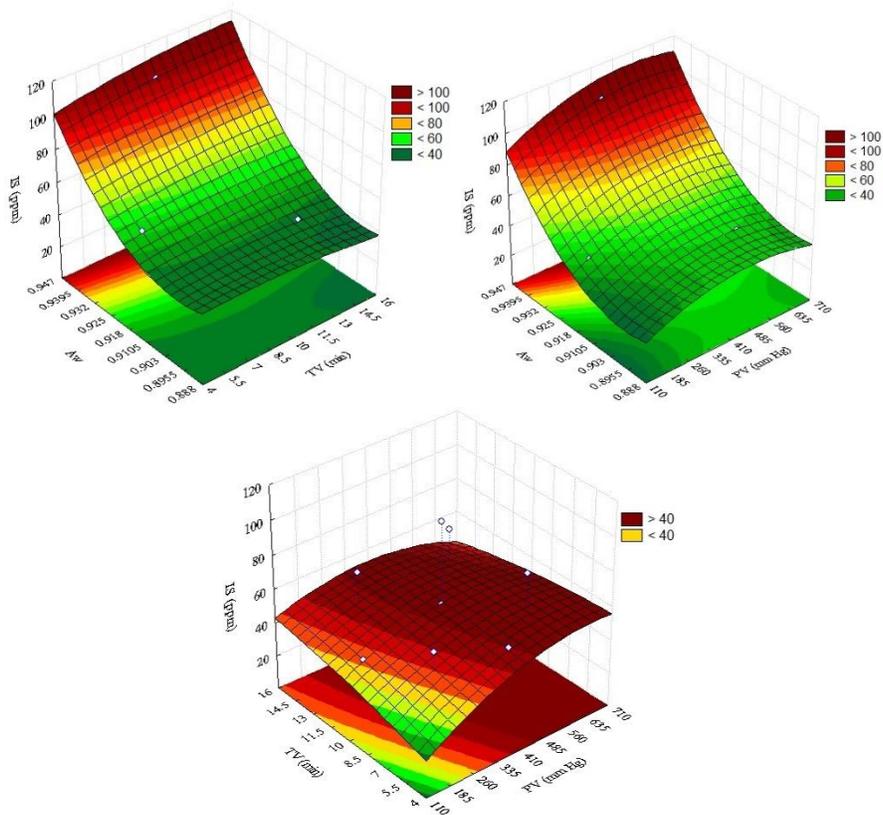


Figura 6 Superfícies de resposta para INa de discos de tomates submetidos a PVOD.

A aplicação do pulso de vácuo foi estatisticamente significativa sobre a INa. A diminuição da pressão absoluta na DO, abaixo de 260 mmHg, promoveu menor incorporação de sódio. A redução da pressão absoluta na DO promove formação de poros no alimento, a partir da remoção de gases oclusos nos espaços intracelulares dos tecidos, e ao restaurar a pressão atmosférica, os poros

são preenchidos com solução osmótica. Comumente, esse processo resulta em maiores taxas de transferência de massa, favorecendo incorporação de sólidos, devido ao aumento da superfície de contato entre o alimento e a solução (CORRÊA et al., 2010; MORENO et al., 2011; AN et al., 2013). Entretanto, em estudo realizado por Corrêa, Ernestoe Mendonça (2016) sobre a desidratação osmótica com pulso de vácuo de fatias de tomate, utilizando soluções ternárias (sacarose-NaCl e maltodextrina-NaCl), os autores observaram uma redução na incorporação de sódio.

3.3 Otimização da PVOD dos discos de tomates através da função desejabilidade

Para a otimização da PVOD levou em conta as condições de processo apresentadas na Tabela 6, que resultaram na redução da incorporação de sódio (INa) e na maximização da perda de água (PA) e da redução de peso (RP).

Tabela 6 Valores atribuídos na investigação das melhores condições de processo via função desejabilidade.

Valor atribuído	Condições para resposta		
	INa (g/kg)x10 ³	PA (%)	RP (%)
Mínimo	103,96 (0)	18,83 (0)	13,12 (0)
Médio	68,95 (0,5)	25,33 (0,5)	19,91 (0,5)
Máximo	33,94 (1,0)	31,83 (1,0)	26,70 (1,0)

Aplicando a função desejabilidade as condições ótimas do processo foram pressão absoluta de 627,5 mm Hg, tempo de aplicação de pulso de vácuo de 15 minutos e atividade de água da solução de 0,903, com um valor de desejabilidade de 0,99 (FIGURA 7). Nessas condições, o máximo PA e RP e mínimo INa foram obtidos, mostrando valores de 30,59%, 24,69% e 63,14 g/kg respectivamente.

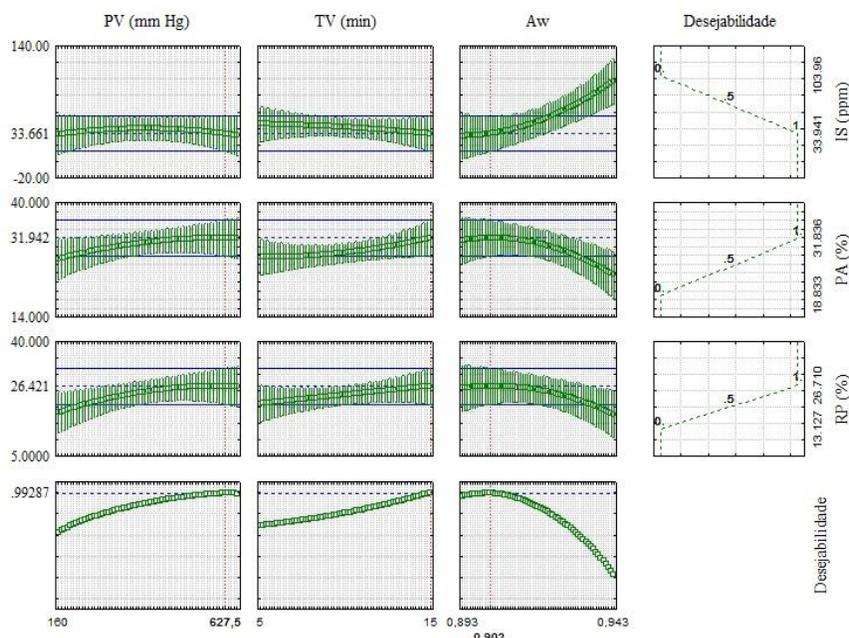


Figura 7 Otimização simultânea da desidratação osmótica de discos de tomates submetidos a PVOD, variáveis de processo e perfil de desejabilidade individual e geral.

Os resultados otimizados foram validados para determinar se os modelos polinomiais de segunda ordem obtidos para INa, PA e RP são adequados.

Tabela 7 Parâmetros preditos e experimentais da desidratação osmótica com pulso de vácuo de discos de tomate.

Parâmetro	Valor predito	Valor experimental	Erro relativo (%)
INa (g/kg)x10 ³	34,27	63,14 ± 1,48	45,72
PA (%)	31,88	30,59± 2,58	4,21
RP (%)	25,65	24,69± 2,31	3,88

Os resultados ótimos foram validados através de uma experiência sobre o ponto ótimo obtido na desejabilidade. Os valores experimentais obtidos foram semelhantes para as respostas previstas pelos modelos, e os erros relativos foram

relativamente baixos (TABELA 7) apenas para os parâmetros PA e RP, A INa apresentou um valor de erro relativo muito alto, indicando que o modelo não se adequa tão bem às respostas.

4 CONCLUSÃO

A redução na pressão absoluta na desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) ocasionou uma menor incorporação de sódio nas amostras, juntamente com soluções ternárias com a_w reduzidas. O tempo de aplicação de vácuo não foi influente no processo.

A otimização do processo através da função de desejabilidade revelou que as condições ótimas para a desidratação osmótica dos tomates foram: pressão absoluta de 627,5 mm Hg, tempo de aplicação de pulso de vácuo de 15 minutos e atividade de água da solução de 0,903. Sob estas condições de processo, foi possível conseguir uma redução da INa e o aumento da PA e RP.

REFERÊNCIAS

- ABANO, E. E.; MA., H.; QU, W. Influence of air temperature on the drying kinetics and quality of tomato slices. **Journal of Food Processing & Technology**, v. 2, n. 5, p. 1–9, 2011.
- AHMED, I.; QAZI, I. M.; JAMAL, S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 29–43, 2016.
- AL-MUHTASEB, A. H.; AL-HARAHSEH, M.; HARARAH, M.; MAGEE, T. R. A. 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, 2010.
- ALBARRACÍN, W.; SÁNCHEZ, I. C.; GRAU, R.; BARAT, J. M. Salt in food processing usage and reduction: A review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 7, p. 1329–1336, 2011.
- AN, K.; DING, S.; HONGYANTAO; ZHAO, D.; WANG, X.; WANG, Z.; HU, X. Response surface optimisation of osmotic dehydration of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) slices. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 28–34, 2013.
- AOAC, I. **Official methods of analysis of aoac international**. [s.l: s.n.]
- AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 291–295, 2004.
- CHAKRABORTY, N.; CHAKRABORTY, R.; SAHA, A. K. Dehydration of kiwi fruit (*Actinidia deliciosa*) by consecutive osmotic dehydration and freeze-drying. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 9, n. 28, 2016.

CHEN, XIAO DONG; MUJUMDAR, A. S. . **Drying technologies in food processing**. Oxford: John Wiley & Sons, 2008.

CORRÊA, J. L. G.; ERNESTO, D. B.; ALVES, J. G. L. F.; ANDRADE, R. S. Optimisation of vacuum pulse osmotic dehydration of blanched pumpkin. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 9, p. 2008–2014, 2014.

CORRÊA, J. L. G.; ERNESTO, D. B.; MENDONÇA, K. S. de. Pulsed vacuum osmotic dehydration of tomatoes: Sodium incorporation reduction and kinetics modeling. **Food Science and Technology**, v. 71, p. 17–24, 2016.

CORRÊA, J. L. G.; PEREIRA, L. M.; VIEIRA, G. S.; HUBINGER, M. D. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 4, p. 498–504, 2010.

CORRÊA, J. L. G.; VIANA, A. D.; MENDONÇA, K. S. de; JUSTUS, A. Optimization of pulsed vacuum osmotic dehydration of sliced tomato. In: **Drying and Energy Technologies**. [s.l.] Springer International Publishing, 2016. p. 207–228.

CORTÉS-OLMOS, C.; LEIVA-BRONDO, M.; ROSELLÓ, J.; RAIGÓN, M. D.; CEBOLLA-CORNEJO, J. The role of traditional varieties of tomato as sources of functional compounds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 14, p. 2888–2904, 2014.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. [s.l.: s.n.]

CRUZ, A. G.; FARIA, J. a F.; POLLONIO, M. a R.; BOLINI, H. M. a; CELEGHINI, R. M. S.; GRANATO, D.; SHAH, N. P. Cheeses with reduced sodium content: Effects on functionality, public health benefits and sensory properties. **Trends in Food Science and Technology**, v. 22, p. 276–291, 2011.

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, 2008.

DEROSSI, A.; SEVERINI, C.; MASTRO, a Del; PILLI, T. De. Study and optimization of osmotic dehydration of cherry tomatoes in complex solution by response surface methodology and desirability approach. **Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 641–648, 2015.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4214–219, 1980.

DOYMAZ, İ. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. **Heat and Mass Transfer**, p. 1–11, 2016.

DOYMAZ, I.; ÖZDEMİR, Ö. Effect of air temperature, slice thickness and pretreatment on drying and rehydration of tomato. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 2, p. 558–564, 2014.

EMBRAPA. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tomate/Abertura.html>>. Acesso em: 26 jan. 2017.

ESCHER, G. B.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D. Optimization of osmo-Convective dehydration process for dry tomato production. **Journal of Food Processing and Preservation**, p. 1–10, 2016.

FAAL, S.; TAVAKOLI, T.; GHOBADIAN, B. Mathematical modelling of thin layer hot air drying of apricot with combined heat and power dryer. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 5, p. 2950–2957, 2014.

FAO. FAOSTAT. **Food And Agriculture Organization Of The United Nations Statistics**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 26 dez. 2016.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v. 39, n. 4, p. 492–498, 2006.

FERRARI, C. C.; ARBALLO, J. R.; MASCHERONI, R. H.; HUBINGER, M. D. Modelling of mass transfer and texture evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 1, p. 436–443, 2011.

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

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, v. 58, p. 33–43, 2003.

HEREDIA, A.; BARRERA, C.; ANDRE, 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, 2007.

HEREDIA, A.; PEINADO, I.; ROSA, E.; ANDRÉS, A.; ESCRICHE, I. Volatile profile of dehydrated cherry tomato: Influences of osmotic pre-treatment and microwave power. **Food Chemistry**, v. 130, n. 4, p. 889–895, 2012.

HORUZ, E.; MASKAN, M. Hot air and microwave drying of pomegranate (*Punica granatum L.*) arils. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 1, p. 285–293, 2013.

KNOCKAERT, G.; PULISSERY, S. K.; COLLE, I.; VAN BUGGENHOUT, S.; HENDRICKX, M.; LOEY, A. Van. Lycopene degradation, isomerization and in vitro bioaccessibility in high pressure homogenized tomato puree containing oil: Effect of additional thermal and high pressure processing. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p. 1290–1297, 2012.

KOWALSKI, S. J.; SZADZIŃSKA, J.; ŁECHTAŃSKA, J. Non-stationary drying of carrot: Effect on product quality. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 4, p. 393–399, 2013.

LEWICKI, P. P.; VU LE, H.; POMARAŃSKA-ŁAZUKA, W. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 2, p. 141–146, 2002.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; DEHNAD, D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, n. 1, p. 379–385, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. [s.l: s.n.].

MAYOR, L.; SERENO, a. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 373–386, 2004.

MERCALI, G. D.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C.; NOREÑA, C. P. Z. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). **Food Science and Technology**, v. 44, n. 1, p. 82–91, 2011.

MORENO, J.; SIMPSON, R.; SAYAS, M.; SEGURA, I.; ALDANA, O.; ALMONACID, S. Influence of ohmic heating and vacuum impregnation on the osmotic dehydration kinetics and microstructure of pears (cv . Packham's Triumph). **Journal of Food Engineering**, v. 104, n. 4, p. 621–627, 2011.

MUNDADA, M.; SINGH, B.; MASKE, S. Optimization of processing variables affecting the osmotic dehydration of pomegranate arils. **Food Science and Technology**, v. 45, p. 1732–1738, 2010.

NADERINEZHAD, S.; ESTESAMI, B.; NAJAFABADY, A. P. Mathematical modeling of drying of potato slices in a forced convective dryer based on important parameters. **Food Science & Nutrition**, v. 4, n. 1, p. 110–118, 2015.

PARK, B. K. J.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; MARIA, I.; DEL FABBRO, I. M. Secagem: fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, p. 93–126, 2014.

PERUSSELLO, C. A.; KUMAR, C.; CASTILHOS, F.; KARIM, M. A. Heat and mass transfer modeling of the osmo-convective drying of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). **Applied Thermal Engineering**, v. 63, n. 1, p. 23–32, 2014.

PERUSSELLO, C. A.; MARIANI, V. C.; AMARANTE, Á. C. C. Do. Thermophysical properties of okara during drying. **International Journal of Food Properties**, v. 17, n. 4, p. 891–907, 2014.

PURKAYASTHA, M. Das; NATH, A.; DEKA, B. C.; MAHANTA, C. L. Thin layer drying of tomato slices. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 4, p. 654, 2013.

RAMALLO, L. A.; HUBINGER, M. D.; MASCHERONI, R. H. Effect of pulsed vacuum treatment on mass transfer and mechanical properties during osmotic dehydration of pineapple slices. **International Journal of Food Engineering**, v. 9, n. 4, p. 403–412, 2013.

RAMYA, V.; JAIN, N. K. A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: An integrated approach. **Journal of Food Process Engineering**, p. 1–22, 2016.

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

RIBEIRO, A. S. da C.; AGUIAR-OLIVEIRA, E.; MALDONADO, R. R. Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality. **Food Science and Technology**, v. 72, p. 407–415, 2016.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 3. ed. [s.l: s.n.].

SADIN, R.; CHEGINI, G. R.; SADIN, H. The effect of temperature and slice thickness on drying kinetics tomato in the infrared dryer. **Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung**, v. 50, n. 4, p. 501–507, 2014.

SAGAR, V. R.; SURESH KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 15–26, 2010.

SERENO, A. M.; 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, 2001.

SOGLIA, F.; PETRACCI, M.; MUDALAL, S.; VANNINI, L.; GOZZI, G.; CAMPRINI, L.; CAVANI, C. Partial replacement of sodium chloride with potassium chloride in marinated rabbit meat. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 49, n. 10, p. 2184–2191, 2014.

SOUZA, J. S.; MEDEIROS, M. F. D.; MAGALHÃES, M. M. a; RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. a N. 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, 2007.

STRUMILLO, C. **Drying: principles, applications, and design**. 3. ed. [s.l: s.n.].

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos-TACO** Campinas NEPA- UNICAM, 2011.

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. 1, p. 509–517, 2007.

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

TORTOE, C. A review of osmodehydration for food industry. **African Journal of Food Science**, v. 4, n. 6, p. 303–324, 2010.

VASCONCELOS, J. I. L. A.; ANDRADE, S. A. C.; MACIEL, M. I. S.; GUERRA, N. B.; VASCONCELOS, M. . S. 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.

VIANA, A. D.; CORRÊA, J. L. G.; JUSTUS, A. Optimisation of the pulsed vacuum osmotic dehydration of cladodes of fodder palm. **Food Science and Technology**, n. 49, p. 726–732, 2014.

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 and Technology**, v. 47, n. 1, p. 132–140, 2012.

WHO, W. H. O. **Review and updating of current WHO recommendations on salt/sodium and potassium consumption**. Disponível em: <http://www.who.int/nutrition/events/NUGAG_dietandhealth_subgroup_call_public_comment_scope_of_Na_K.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2015.

YADAV, A. K.; SINGH, S. V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 1–20, 2012.

ZHAO, J. H.; HU, R.; XIAO, H. W.; YANG, Y.; LIU, F.; GAN, Z. L.; NI, Y. Y. Osmotic dehydration pretreatment for improving the quality attributes of frozen mango: Effects of different osmotic solutes and concentrations on the samples. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 4, p. 960–968, 2014.

ARTIGO 2 - Cinética e parâmetros de qualidade de tomates osmodesidratados com pulso de vácuo.

RESUMO

A secagem é um método amplamente utilizado para conservação de alimentos. O comportamento da secagem de discos de tomate osmodesidratados foi investigado a 50 e 70°C com velocidade do ar de 0,5 e 1,5 m s⁻¹. As amostras foram pré-tratadas por desidratação osmótica com pulso de vácuo. As amostras secas apresentaram teor de umidade final foi de 19 kg de água. kg⁻¹ de matéria úmida. Os parâmetros avaliados foram atividade de água, cor e razão de reidratação. As cinéticas de secagem foram obtidas e ajustadas com o modelo de Fick. Foram obtidos tempos de secagem mais curtos, maior difusividade com o aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem. A secagem por convecção não afetou substancialmente a cor dos tomates secos. A maior temperatura de secagem apresentou maior razão de reidratação. As difusividades efetivas de umidade variaram de 8,16×10⁻⁹ a 2,38×10⁻⁸ m² s⁻¹ na faixa de temperatura estudada.

Palavras-chave: Secagem, tomate seco, difusividade.

1 INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum*) é considerado uma excelente fonte de vitaminas A, C e E. A presença de licopeno, que confere a cor vermelha ao fruto, traz caráter antioxidante ao tomate (KNOCKAERT et al., 2012; ESCHER; COELHO; CHRIST, 2016). Devido à sua composição, o tomate é altamente suscetível à deterioração pós colheita. Um levantamento realizado pela FAO em 2013 mostrou que 10% da produção brasileira de tomate é desperdiçada.

Uma das formas mais antigas de preservação de alimentos se dá a partir da remoção de água por secagem. A água é um dos constituintes mais

abundantes em frutas e vegetais e tem influência direta e decisiva na estabilidade dos alimentos, por acarretar em mudanças físico-químicas e biológicas (FERNANDES et al., 2006). A secagem convectiva é uma forma alternativa de fornecer produtos desidratados para o comércio, porém, pode provocar alterações durante o processo, que podem comprometer sua qualidade, diminuindo seu valor nutricional e sensorial (PURKAYASTHA et al., 2013).

Uma forma de minimizar os efeitos negativos da secagem convectiva é utilizar a desidratação osmótica (DO) como um pré-tratamento. A fim de melhorar as taxas de transferência de massa na DO, outros tratamentos podem ser realizados como o uso do pulso de vácuo no início do processo de desidratação (CORRÊA et al., 2010). A desidratação osmótica com pulso de vácuo (PVOD) consiste na aplicação de uma condição sub-atmosférica no início da DO por um curto período de tempo, removendo os gases e líquidos oclusos na estrutura porosa do tecido e o preenchimento desses poros formados pela solução osmótica (DENG; ZHAO, 2008).

A utilização da DO antes da secagem convectiva possibilita a diminuição do tempo de exposição do alimento a altas temperaturas do processo minimizando as alterações de cor e aumenta a retenção de sabor e melhora a aparência e textura em frutas e vegetais secos (YADAV; SINGH, 2012). A DO, seguida da secagem, proporciona um aumento na vida útil dos alimentos, além de serem técnicas de processamento simples (RIBEIRO; AGUIAR-OLIVEIRA; MALDONADO, 2016).

O objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de secagem por convecção de discos de tomate osmoticamente desidratados e avaliar o efeito da temperatura de secagem sobre os atributos de qualidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Foram adquiridos tomate (*Lycopersicon esculentum*) cv. Carmem no mercado local (Lavras - MG, Brasil) e selecionados visualmente pela cor (vermelho brilhante), firmeza, tamanho e ausência de danos físicos. A a_w dos frutos frescos foi $0,994 \pm 0,003$. Os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* para pele foram $41,13 \pm 1,33$; $21,80 \pm 0,81$ e $27,19 \pm 2,86$ e para polpa, $43,25 \pm 2,75$; $20,92 \pm 5,42$; $17,56 \pm 2,58$, respectivamente.

2.2 Preparo das amostras

Os tomates foram lavados com água corrente e tiveram sua superfície seca com papel absorvente. Os frutos foram cortados em metades, as sementes removidas e as amostras obtidas como discos com 3,0 cm de diâmetro e espessura determinados pela amostra ($6,87 \pm 0,80$ mm). Esta etapa foi realizada com o auxílio de um molde de aço inoxidável. A pele do tomate foi mantida, pois nela é que se observa o maior teor de licopeno, com concentração de até cinco vezes a da polpa (HEREDIA et al., 2012).

2.3 Desidratação osmótica com pulso de vácuo (pvod)

Os discos de tomate foram submetidos a desidratação osmótica com aplicação de pulso de vácuo nos primeiros 15 minutos a uma pressão absoluta de 627,5 mm Hg, determinados a partir de testes preliminares. Após este período, a desidratação osmótica seguiu à pressão atmosférica (755,3 mmHg) num tempo

total de processo de 120 minutos à 30°C. A concentração da solução ternária utilizada como agente osmótico foi otimizada em um estudo anterior. Esta solução era composta por sacarose e cloreto de sódio comercial, nas concentrações de 42,1 e 5,3% respectivamente, com atividade de água de 0,903. A relação alimento: solução foi de 1:20 (p:p) a fim de evitar diluição da solução durante o processo de osmose (CORRÊA et al., 2014). Ao final do tempo de DO, as amostras foram imersas em um banho de gelo para cessar a transferência de massa e tiveram sua superfície seca com papel absorvente para remover o excesso de solução.

2.4 Secagem

As amostras obtidas na PVOD foram colocadas em um prato de aço inoxidável e inseridas em um secador convectivo (Modelo MD018, Eco educacional, São José, Brasil). A secagem ocorreu a 50 e 70°C com velocidade do ar de 0,5 e 1,5 m s⁻¹ até atingir teor de umidade de 19 kg de água/100 kg de matéria úmida. O porta amostras do secador é acoplado a uma balança (precisão, modelo) para registrar a variação de massa das amostras durante a secagem.

2.5 Análises físico-químicas

As análises de cor foram realizadas com auxílio de um colorímetro (modelo CR-300X, Minolta Co. Ltd, Osaka, Japão). Cada medição forneceu os parâmetros de cor L*, a*, b* para casca e para a polpa dos discos de tomates. A diferença total de cor (ΔE), foi calculada pela Equação 6.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (6)$$

O teor de umidade das amostras foi determinado de acordo com o método padrão 934.06 utilizando estufa a vácuo (AOAC, 2005).

A atividade de água foi obtida com o auxílio de um higrômetro (modelo CX- 2T, Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA) em quadruplicata.

A reidratação dos tomates secos foi feita em água a 25 °C. Aproximadamente 1 grama de amostra foi colocada em 100 ml de água. As amostras foram pesadas durante 20, 30, 40 e 50 minutos com auxílio de balança analítica (modelo AUY 220, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) (LEWICKI; VU LE; POMARAŃSKA-ŁAZUKA, 2002). Foi calculada a razão de reidratação conforme a equação 7 (DOYMAZ; ÖZDEMIR, 2014):

$$RR = \frac{W_r}{W_s} \quad (7)$$

onde W_r é a massa da amostra após reidratação (kg), e W_s é a massa do material seco (kg).

2.6 Modelagem matemática das curvas de secagem

O modelo de Fick foi empregado para a modelagem da cinética de secagem considerando as amostras como placas semiinfinitas de espessura L e a transferência interna de umidade unidirecional, com base na Equação 8.

$$\frac{\partial M(t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{\text{eff}} \frac{\partial M(t)}{\partial z} \right) \quad (8)$$

Onde M_t é o teor de umidade (kg água kg^{-1}), D_{eff} é a difusividade efetiva ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), z é uma coordenada genérica direcional, e t representa o tempo (s).

Neste trabalho, a pele do tomate foi mantida devido a maior concentração de licopeno presente que na polpa (HEREDIA et al., 2012). A presença da pele nos discos de tomate foi considerada como uma barreira à difusão de umidade.

Supondo que a condição inicial da amostra se apresenta uniforme quanto ao teor de água e sólido, o teor de umidade superficial da amostra atinge instantaneamente o equilíbrio com a condição do ar circundante, o coeficiente de difusão seja constante e o encolhimento insignificante. Assim, a resolução de CRANK (1979) para a equação unidirecional de Fick torna-se (EQUAÇÃO 9).

$$\text{MR} = \left(\frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp \left(- (2i+1)^2 \pi^2 D_{\text{eff}} \frac{t}{4L^2} \right) \right) \quad (9)$$

Onde MR é o conteúdo adimensional de água ou sólidos; i é o número de termos da série; D_{eff} é o coeficiente de difusividade efetiva ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); L é o comprimento característico; t é o tempo decorrido durante a secagem (s). A difusividade efetiva é determinada por estimativa não linear.

O teor de umidade adimensional (MR) é dado pela Equação 10.

$$\text{MR} = \frac{M_t - M_{\text{eq}}}{M_0 - M_{\text{eq}}} \approx \frac{M_t}{M_0} \quad (10)$$

Onde M_{eq} é o teor de umidade no equilíbrio (kg água. Kg^{-1}), M_0 é o teor inicial de umidade (kg água. Kg^{-1}). Assumiu-se que o valor de M_{eq} seja muito menor que M_0 e que M_t na maioria dos tempos. Esta mesma consideração foi adotada por Sadin, Chegini e Sadin (2014) e Purkayastha et al. (2013), Doymaz

e Özdemir (2014) que trabalharam com secagem de tomates às temperaturas de 60; 70 e 80°C.

As difusividades efetivas foram obtidas utilizando a regressão não-linear (Quasi-Newton) do software STATISTICA 8.0® (StatSoft, Tulsa, EUA), considerando a expansão da equação com cinco termos.

Para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos foram utilizados o coeficiente de determinação (R^2) e o erro quadrático médio (RMSE).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito da temperatura e da velocidade do ar sobre o comportamento de secagem

As curvas de secagem dos discos de tomate para as diferentes temperaturas e velocidades do ar testadas são mostradas na Figura 8. A taxa de secagem para todos os tratamentos foi maior na fase inicial da secagem e depois diminuiu continuamente. A maior taxa de secagem foi observada quando se utilizou 70°C com velocidade do ar de 1,5 m s⁻¹, enquanto a menor taxa foi a 50°C com velocidade do ar de 0,5 m s⁻¹. Na etapa inicial da secagem, o teor de umidade no alimento é alto, conduzindo a uma taxa de secagem mais elevada devido ao maior gradiente de pressão de vapor. À medida que a secagem progride, o gradiente de pressão de vapor diminui, reduzindo a taxa de secagem. Resultados semelhantes foram observados por Purkayastha et al. (2013) durante a secagem de fatias de tomates e por Faal, Tavakoli e Ghobadian (2014) na secagem de damasco.

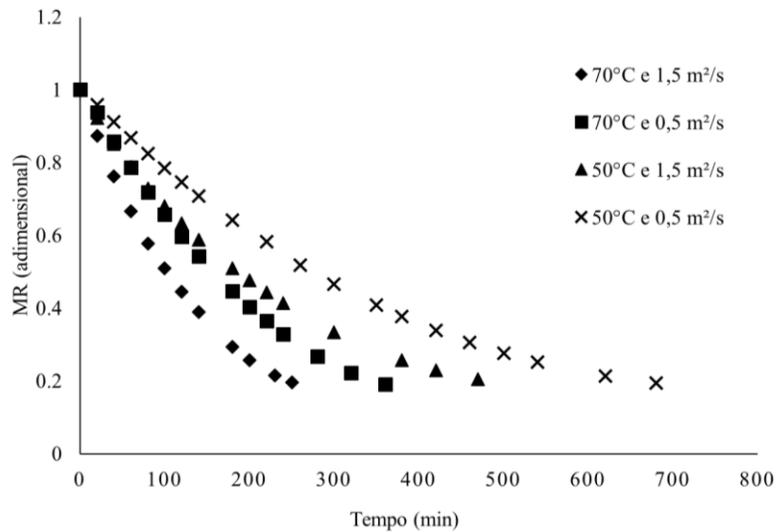


Figura 8 Curva de secagem dos discos de tomate a várias temperaturas e velocidade do ar de secagem.

A redução do tempo de secagem está associada com a temperatura e a velocidade do ar no processo. Maiores temperaturas levaram à maior redução do teor de umidade em menores tempos. O mesmo foi observado com o aumento da velocidade do ar (TABELA 8). Esses resultados estão de acordo com Doymaz e Özdemir (2014) para tomates e Doymaz (2016) para discos de cenoura. O fluxo de ar durante a secagem proporciona a redução da espessura da camada limite existente entre o material e o ar quente, reduzindo a resistência externa à transferência de massa e, conseqüentemente, aumentando a taxa de secagem (NADERINEZHAD; ESTESAMI; NAJAFABADY, 2015).

Tabela 8 Tempo total de secagem (min) e atividade de água do produto final

Condição	Tempo (min)	$a_{w_{pf}}$
70°C; 1,5 m s ⁻¹	251 ± 8	0,432 ± 0,021
70°C; 0,5 m s ⁻¹	349 ± 2	0,425 ± 0,036
50°C; 0,5 m s ⁻¹	497 ± 25	0,438 ± 0,016
50°C; 1,5 m s ⁻¹	680 ± 30	0,442 ± 0,052

As curvas de secagem apresentaram um período de taxa decrescente superior ao período de taxa constante, mostrando que a difusão é o mecanismo físico dominante que regula o movimento de umidade nas amostras.

3.2 Modelagem da cinética de secagem

Os valores de difusividade efetiva de umidade (D_{eff}) para os discos de tomate secos a diferentes temperaturas e velocidades do ar, são apresentados na Tabela 9. A D_{eff} variou de $0,8 \times 10^{-8}$ a $2,32 \times 10^{-8}$ com R^2 superior a 0,93 e com baixos valores de RMSE e SSE, indicando uma boa adequação entre os valores experimentais e preditos. Os valores de D_{eff} situam-se dentro da faixa de 10^{-12} a 10^{-8} m² s⁻¹, comum para secagem de materiais alimentares (ABANO; MA; QU, 2011).

O aumento na temperatura do ar de secagem promove uma maior pressão de vapor nas amostras acarretando em maiores valores de D_{eff} de umidade (TABELA 9). Esse mesmo comportamento foi observado por Abano, Ma e Qu (2011) na secagem com ar quente de fatias de tomate. A velocidade do ar provocou um aumento na D_{eff} de umidade.

Tabela 9 Difusividade efetiva (D_{eff}), coeficiente de determinação (R^2), erro quadrático médio (RMSE) e soma do quadrado dos erros (SSE).

Condição	$D_{\text{eff}} \times 10^8$ ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)	R^2	RMSE x 10^{-2}	SSE x 10^3
70°C 1,5 m s^{-1}	2,321	0,95	5,00	2,50
70°C 0,5 m s^{-1}	1,558	0,94	6,20	3,84
50°C 1,5 m s^{-1}	1,238	0,96	4,10	1,68
50°C 0,5 m s^{-1}	0,816	0,93	6,62	4,37

3.3 Análise qualitativa

A reidratação apresentou taxa inicial elevada seguida de absorção mais lenta (FIGURA 9) para todos os tratamentos. A elevada taxa de absorção de água no início pode ser explicada pela rápida reidratação dos capilares e cavidades perto da superfície, os quais são rapidamente preenchidos com água. Resultado semelhante foi obtido por Doymaz e Özdemir, (2014) na secagem de tomates.

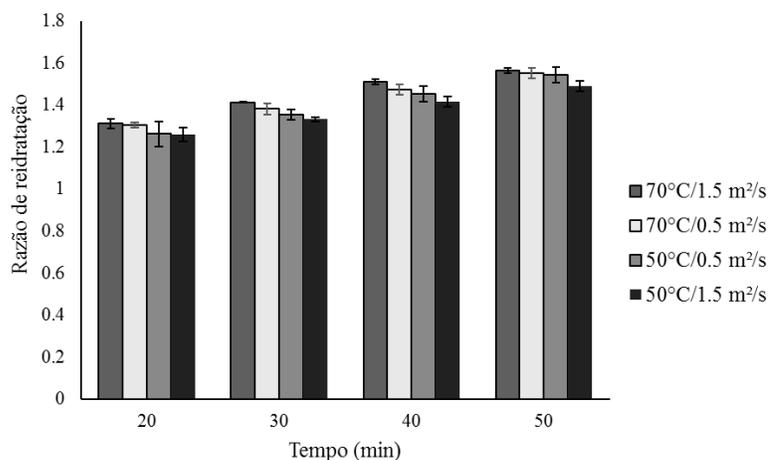


Figura 9 Razão de reidratação dos discos de tomates em cada tratamento realizado.

A razão de reidratação dos discos de tomates se apresentaram semelhantes para as temperaturas de 50 e 70°C, em todo o tempo avaliado. Comumente, com o aumento da temperatura, ocorre a redução da razão de reidratação, porém, o mesmo não foi observado neste trabalho. Experimentos complementares devem ser realizados para se avaliar esta tendência.

A atividade da água dos produtos secos é um fator determinante na estabilidade microbiológica. Basicamente, o material é considerado como microbiologicamente seguro, quando a atividade da água é inferior a 0,6 (KOWALSKI; SZADZIŃSKA; ŁECHTAŃSKA, 2013). Os valores de atividade de água dos tomates secos apresentaram abaixo de 0,442 (TABELA 7).

A cor é um atributo muito importante dos produtos desidratados, do ponto de vista da aceitação do consumidor. As alterações na cor do tomate nas condições de desidratação são comumente utilizadas como indicadores de qualidade do produto e desempenho do processo. A Tabela 10 apresenta os valores médios e desvios-padrão da diferença total de cor (ΔE), luminosidade (L^*) e coordenada vermelho/verde (a^*) obtidos para os discos de tomates secos.

Tabela 10 Parâmetros de cor dos discos de tomate in natura e após a secagem.

Condição	ΔE	L^*	a^*
In natura	0	41,13±1,33	21,80±0,81
70°C -1,5 m s ⁻¹	11,90±0,05	44,96±0,43	30,08±0,36
70°C -0,5 m s ⁻¹	11,88±2,25	45,61±1,96	30,22±4,69
50°C - 1,5 m s ⁻¹	12,69±1,54	44,13±0,68	30,98±2,70
50°C -0,5 m s ⁻¹	14,20±1,52	42,93±0,76	34,72±2,12
In natura	0	43,25±2,75	20,92±5,42
70°C -1,5 m s ⁻¹	8,32±2,76	45,36±3,77	26,08±2,15
70°C -0,5 m s ⁻¹	6,39±1,59	44,70±3,35	27,50±2,43
50°C - 1,5 m s ⁻¹	6,31±1,30	43,38±2,14	26,42±0,63
50°C -0,5 m s ⁻¹	12,64±2,92	46,92±6,53	28,36±1,54

Um aumento na diferença total de cor (ΔE) foi observado na pele do tomate com a redução da temperatura de secagem.

A luminosidade dos discos de tomate foi melhorada após a secagem tanto para polpa quanto para a pele. O mesmo comportamento foi observado por Abano, Ma e Qu (2011) na secagem de fatias de tomate.

Ao submeter os tomates a secagem ocorreu um aumento nos valores da coordenada a^* tanto para polpa, como para a pele. Comportamento semelhante foi obtido por Al-Muhtaseb et al. (2010) na secagem de bagaço de tomate.

Experimentos de secagem adicionais devem ser realizados com tomates sem o tratamento osmótico para avaliar o impacto do pré-tratamento nos parâmetros de cor.

4 CONCLUSÃO

O tempo de secagem dos discos de tomate foi reduzido com o aumento da temperatura e com o aumento da velocidade do ar de secagem.

A difusividade efetiva da umidade aumentou com o aumento da temperatura do ar, variando de $8,16 \times 10^{-9}$ a $2,38 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ na faixa de temperatura estudada.

Em geral, a secagem convectiva não afetou substancialmente a cor e a razão de reidratação dos tomates secos.

A secagem a 70°C com velocidade do ar de $0,5 \text{ m s}^{-1}$ mostrou ser um bom tratamento, pois apresentou reduzido tempo de secagem sem alterar substancialmente os parâmetros de qualidade.

REFERÊNCIAS

ABANO, E. E.; MA., H.; QU, W. Influence of air temperature on the drying kinetics and quality of tomato slices. **Journal of Food Processing & Technology**, v. 2, n. 5, p. 1–9, 2011.

AL-MUHTASEB, A. H.; AL-HARAHSEH, M.; HARARAH, M.; MAGEE, T. R. A. 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, 2010.

AOAC, I. **Official methods of analysis of aoac international**. [s.l.: s.n.].

CORRÊA, J. L. G.; ERNESTO, D. B.; ALVES, J. G. L. F.; ANDRADE, R. S. Optimisation of vacuum pulse osmotic dehydration of blanched pumpkin. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 9, p. 2008–2014, 2014.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. 1979.

DOYMAZ, İ. Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. **Heat and Mass Transfer**, p. 1–11, 2016.

DOYMAZ, I.; ÖZDEMİR, Ö. Effect of air temperature, slice thickness and pretreatment on drying and rehydration of tomato. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 2, p. 558–564, 2014.

FAAL, S.; TAVAKOLI, T.; GHOBADIAN, B. Mathematical modelling of thin layer hot air drying of apricot with combined heat and power dryer. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 5, p. 2950–2957, 2014.

FAO. FAOSTAT – **Food And Agriculture Organization Of The United Nations Statistics**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 26 dez. 2016.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; GASPARETO, O. C. P.; OLIVEIRA, E. L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. **Food Research International**, v. 39, n. 4, p. 492–498, 2006.

HEREDIA, A.; PEINADO, I.; ROSA, E.; ANDRÉS, A.; ESCRICHE, I. Volatile profile of dehydrated cherry tomato: Influences of osmotic pre-treatment and microwave power. **Food Chemistry**, v. 130, n. 4, p. 889–895, 2012.

KOWALSKI, S. J.; SZADZIŃSKA, J.; ŁECHTAŃSKA, J. Non-stationary drying of carrot: Effect on product quality. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 4, p. 393–399, 2013.

LEWICKI, P. P.; VU LE, H.; POMARAŃSKA-ŁAZUKA, W. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 54, n. 2, p. 141–146, 2002.

NADERINEZHAD, S.; ESTESAMI, B.; NAJAFABADY, A. P. Mathematical modeling of drying of potato slices in a forced convective dryer based on important parameters. **Food Science & Nutrition**, v. 4, n. 1, p. 110–118, 2015.

PURKAYASTHA, M. Das; NATH, A.; DEKA, B. C.; MAHANTA, C. L. Thin layer drying of tomato slices. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 4, p. 654, 2013.

RIBEIRO, A. S. da C.; AGUIAR-OLIVEIRA, E.; MALDONADO, R. R. Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality. **Food Science and Technology**, v. 72, p. 407–415, 2016.

SADIN, R.; CHEGINI, G. R.; SADIN, H. The effect of temperature and slice thickness on drying kinetics tomato in the infrared dryer. **Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung**, v. 50, n. 4, p. 501–507, 2014.

SEREMET, L.; BOTEZ, E.; NISTOR, O. V.; ANDRONOIU, D. G.; MOCANU, G. D. Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices. **Food Chemistry**, v. 195, p. 104–109, 2016.

YADAV, A. K.; SINGH, S. V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 1–20, 2012.

5 CONCLUSÃO GERAL

A redução de incorporação de sódio em desidratação osmótica de alimentos, com uso de soluções ternárias, pode ser obtida em menores pressões absolutas.

A desidratação osmótica dos tomates à pressão absoluta de 627,5 mm Hg, tempo de aplicação de pulso de vácuo de 15 minutos e atividade de água da solução de 0,903, fornece maiores redução da INa, PA e RP.

Com o aumento da temperatura e da velocidade do ar de secagem ocorreu uma redução no tempo total de secagem dos discos de tomate, com aumento da difusividade efetiva de umidade.

O período de taxa decrescente foi predominante durante a secagem.