



MARINA HORTÊNCIA DA SILVA BARROS DE OLIVEIRA

MELÃO DESIDRATADO FORTIFICADO COM CÁLCIO

Recife

2018

MARINA HORTÊNCIA DA SILVA BARROS DE OLIVEIRA

MELÃO DESIDRATADO FORTIFICADO COM CÁLCIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Nutrição.

Orientadora: Dr^a Patrícia Moreira Azoubel

Co-orientadora: Dr^a Fernanda Araújo Honorato

Recife

2018

Catálogo na Fonte
Bibliotecária: Mônica Uchôa, CRB4-1010

O48m	<p>Oliveira, Marina Hortência da Silva Barros de. Melão desidratado fortificado com cálcio / Marina Hortência da Silva Barros de Oliveira. – 2018. 66 f.: il.; tab.; 30 cm.</p> <p>Orientadora: Patrícia Moreira Azoubel. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCS. Programa de Pós-Graduação em Nutrição. Recife, 2018.</p> <p>Inclui referências.</p> <p>1. Alimentos fortificados. 2. Cálcio. 3. Desidratação. 4. Impregnação a vácuo. 5. Cucumis melo L. I. Azoubel, Patrícia Moreira (Orientadora). II. Título.</p>
612.3	CDD (23.ed.)
	UFPE (CCS2018-281)

MARINA HORTÊNCIA DA SILVA BARROS DE OLIVEIRA

MELÃO DESIDRATADO FORTIFICADO COM CÁLCIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Nutrição.

Dissertação aprovada em 27/08/2018.

Banca examinadora:

Prof^a. Dra Thayza Christina Montenegro Stamford

Departamento de Nutrição / UFPE

Prof^a. Dra Tânia Lúcia Montenegro Stamford

Departamento de Nutrição / UFPE

Prof^a. Dra Ana Paula Silveira Paim

Departamento de Química Fundamental / UFPE

Recife

2018

“A persistência é o caminho do êxito”.

(CHAPLIN, 1997, p.118)

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por me guiar todos os dias nessa caminhada;

Aos meus pais, Félix Barros e Giane Barros, que sempre lutaram junto comigo na realização dos meus objetivos;

Ao meu marido, Daniel Vieira, pelo apoio, pela compreensão, pelos conselhos e pensamentos positivos para que eu pudesse concluir mais uma etapa da minha vida;

À minha orientadora, Patrícia Azoubel, pela paciência na orientação e pelos ensinamentos e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho;

À minha co-orientadora, Fernanda Honorato, por estar sempre presente e disponível para ajudar no desenvolvimento da pesquisa;

Aos colegas do laboratório, os *Pazoubinhos*, Edvaldo Vieira, Antônio Madureira, Edilene Silva, Shirley Rupert, João Henrique, Rafael Medeiros, Zilmar Pimenta e Amanda Lopes pelo convívio, sugestões e enorme auxílio nas análises;

Aos colegas do mestrado, Éryka, Roberta, Alberto, Edvaldo e Emanuelle, pelo convívio, pela força e conhecimentos compartilhados durante essa trajetória;

A toda a equipe do Laboratório de Engenharia de Alimentos (DEQ), do Laboratório de Experimentação em Análise de Alimentos do Departamento de Nutrição (DN) e do Laboratório de Instrumentação e Automação em Análise Química (DQF), em especial à Professora Ana Paula Paim e aos técnicos Ana Maria e Sebastião Camilo pelo acolhimento e auxílio no manuseio de equipamentos e materiais necessários para realização das análises;

À Universidade Federal de Pernambuco, bem como a toda equipe da coordenação e aos grandes docentes do Curso de Pós-graduação em Nutrição, por ter possibilitado mais uma etapa de aprendizado em minha vida;

À CAPES/PROEX pelo suporte financeiro necessário para o desenvolvimento desta pesquisa;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O interesse na fortificação de alimentos com cálcio tem recebido grande atenção devido aos seus efeitos benéficos no organismo, bem como na modificação da estrutura de vegetais. Diversas técnicas podem ser aplicadas na incorporação de diversos compostos bioativos na matriz alimentar, inclusive sais de cálcio. O objetivo deste trabalho foi elaborar melão desidratado fortificado com cálcio pelas técnicas de impregnação com vácuo e/ou ultrassom. As amostras foram imersas em solução de cloreto de cálcio 2% a 25°C e foram realizados quatro procedimentos para estudar a impregnação: impregnação a vácuo (IV), pressão de -650 mm Hg por 10 min, seguido de 10 min sob pressão atmosférica; impregnação sem vácuo por 20 min (ISV); impregnação com ultrassom (IUS), 25 kHz por 10 min, seguido de 10 min sem ultrassom; e impregnação com uso de vácuo (-650 mm Hg) e ultrassom (25 kHz) (IVUS) por 10 min, seguido de 10 min sem nenhum tratamento. Após a etapa de impregnação, as amostras foram secas a 60 °C com velocidade do ar de 2,0 m/s em um secador de leito fixo. A influência do método de impregnação na cinética de secagem, atividade de água, variação de massa, teor de cálcio, cor e textura das amostras foram avaliados. Os melões impregnados a vácuo foram os que apresentaram maior ganho de massa (5,6%) e maior tempo de secagem (86 min). Verificou-se que a IV foi a técnica que mais incorporou cálcio na estrutura do melão (3812,6 mg/kg massa seca), aumentando mais de 13 vezes a concentração de cálcio das amostras. A atividade de água das amostras secas variou de 0,49 a 0,55, indicando a eficiência do processo para a conservação das amostras. As amostras secas após a IV apresentaram as maiores diferenças de cor e dureza. As demais amostras não atingiram o valor necessário do teor de cálcio para serem consideradas enriquecidas com esse componente. Sendo assim, os resultados desse estudo mostram que a IV foi a técnica mais efetiva na incorporação de cálcio, sendo a única capaz de produzir melão seco considerado fortificado.

Palavras-chave: Alimentos fortificados. Cálcio. Desidratação. Impregnação a vácuo. *Cucumis melo* L.

ABSTRACT

Interest in food fortification with calcium has received great attention because of its beneficial effects on the body as well as in the modification of the plant structure. Many techniques can be applied in the incorporation of several bioactive compounds into the food matrix, including calcium salts. The objective of this work was to elaborate dehydrated melon fortified with calcium by impregnation techniques with vacuum and/or ultrasound. The samples were immersed in a 2% calcium chloride solution at 25 °C and four procedures were performed to study the impregnation: vacuum impregnation (VI), pressure of -650 mm Hg for 10 min, followed by 10 min under atmospheric pressure; no vacuum impregnation for 20 min (NVI); ultrasound impregnation (USI), 25 kHz for 10 min, followed by 10 min without ultrasound; and impregnation with vacuum (-650 mm Hg) and ultrasound (25 kHz) (IVUS) for 10 min, followed by 10 min with no treatment. After the impregnation step, the samples were dried at 60 °C and an air velocity of 2.0 m/s in a fixed bed dryer. The influence of the impregnation method on drying kinetics, water activity, mass variation, calcium content, color and texture of the samples were evaluated. The vacuum impregnated melons presented higher mass gain (5.6%) and drying time (86 min). It was verified that VI was the technique that resulted in the highest calcium incorporation in the melon structure (3812.6 mg/kg dry mass), increasing up to 13 times the calcium concentration of the samples. The water activity of the dried samples varied from 0.49 to 0.55, indicating the efficiency of the process for the conservation of the samples. The samples dried after submitted to VI showed the greatest differences in color and hardness. The other samples did not reach the necessary value of the calcium content to be considered enriched with this component. Thus, results from this study show that VI was the most effective technique in calcium incorporation, being the only one capable of producing fortified dried melon.

Keywords: Food Fortified. Calcium. Dehydration. Vacuum impregnation. *Cucumis melo* L.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Principais tipos de melões comercializados no Brasil	16
Figura 2 -	Esquema do processo de impregnação a vácuo	22
Figura 3 -	Fenômeno da cavitação	26
Figura 4 -	Curvas típicas de secagem	30
Figura 5 -	Amostra de melão in natura após corte.....	33
Figura 6 -	Fluxograma do processamento e das técnicas de impregnação de cálcio em melão.....	34
Figura 7-	Esquema do sistema utilizado para impregnação com uso de vácuo e ultrassom.....	35
Figura 8 -	Esquema do secador de leito fixo com recirculação de ar	36
Figura 9 -	Adimensional de umidade (ADM) em função do tempo para o processo de secagem do melão por diferentes técnicas: Nat = In natura; IV = Impregnadas a vácuo; ISV= Impregnadas sem vácuo; IUS = Impregnadas por ultrassom; IVUS = Impregnadas com vácuo e ultrassom.....	43
Figura 10 -	Amostras desidratadas de melão com umidade a 16% submetidas a diferentes técnicas de impregnação: (a) In natura; (b) Impregnadas a vácuo; (c) Impregnadas com vácuo e ultrassom; (d) Impregnadas por ultrassom; (e) Impregnadas sem vácuo	44
Figura 11-	Variação de umidade na secagem de amostras de melão submetidas a diferentes técnicas de impregnação: Nat = In natura; IV = Impregnadas a vácuo; ISV= Impregnadas sem vácuo; IUS = Impregnadas por	

ultrassom; IVUS = Impregnadas com vácuo e ultrassom; X16 =
 umidade 16% em base úmida.....45

Figura 12 - Diferença total de cor das amostras de melão frescas e desidratadas submetidas a diferentes tratamentos em relação à amostra de melão in natura fresco: IV = Impregnadas a vácuo; ISV= Impregnadas sem vácuo; IUS = Impregnadas por ultrassom; IVUS = Impregnadas com vácuo e ultrassom56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do melão (<i>Cucumis melo</i> L.) por 100 g da parte comestível...	17
Tabela 2 - Ganho de massa das amostras após os tratamentos em relação à massa inicial.....	41
Tabela 3 - Concentração de cálcio em base seca de melão desidratado in natura e impregnado por diferentes métodos.....	46
Tabela 4 - Caracterização físico-química do melão in natura e impregnado antes e após a secagem	51
Tabela 5 - Valores médios para cor das amostras de melão in natura e impregnadas antes e após a secagem.....	54
Tabela 6 - Dureza das amostras de melão in natura e impregnadas antes e após a secagem.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Melão (<i>Cucumis melo</i> L.)	15
2.1.1	Aspectos gerais.....	15
2.1.2	Classificação comercial.....	15
2.1.3	Importância nutricional	17
2.2	Cálcio	18
2.2.1	Importância no organismo.....	18
2.2.2	Importância nutricional	18
2.2.3	Fortificação / enriquecimento de alimentos	19
2.2.4	Aplicação em alimentos.....	20
2.3	Impregnação á vácuo.....	21
2.3.1	Aspectos gerais.....	21
2.3.2	Mecanismo de ação	22
2.3.3	Aplicabilidade	23
2.4	Ultrassom.....	25
2.4.1	Aspectos gerais.....	25
2.4.2	Mecanismo de ação	25
2.4.3	Aplicação na indústria de alimentos	26
2.5	Secagem.....	28
2.5.1	Aspectos gerais.....	28
2.5.2	Fenômeno da secagem.....	29
2.5.3	Aspectos gerais da secagem em alimentos	31
3	OBJETIVOS	32
3.1	Objetivo geral	32
3.2	Objetivos específicos.....	32
4	MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1	Matéria prima	33
4.2	Impregnação com cálcio.....	34
4.2.1	Preparo da solução impregnante	34
4.2.2	Métodos de impregnação	34
4.2.3	Variação de massa.....	35
4.3	Secagem.....	36

4.4	Avaliação físico-química.....	37
4.4.1	Umidade	37
4.4.2	Atividade de água.....	37
4.4.3	Sólidos solúveis.....	37
4.4.4	Cor.....	38
4.4.5	Textura	38
4.4.6	Determinação do teor de cálcio.....	38
4.4.6.1	Digestão da amostra	39
4.4.6.2	Preparo da curva analítica.....	39
4.4.6.3	Quantificação de cálcio na amostra	39
4.5	Análise estatística	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	Impregnação com cálcio.....	41
5.2	Secagem.....	43
5.3	Quantificação de cálcio nas amostras desidratadas	46
5.4	Caracterização físico-química.....	51
5.5	Cor	53
5.6	Textura	57
6	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A fortificação ou enriquecimento de alimentos vem sendo utilizada como um recurso de baixo custo na prevenção de carências nutricionais em muitos países. Com isso, diversos alimentos têm sido submetidos a esse processo, mostrando-se eficientes e bem tolerados (WHITING et al., 2016).

O interesse na fortificação de alimentos com sais de cálcio tem recebido grande atenção devido à importância do cálcio na prevenção de diversas doenças crônicas, como a osteoporose. O cálcio é um dos minerais mais importantes e mais abundantes do corpo humano, cujas funções estão relacionadas à mineralização óssea e à função metabólica (HEANEY, 2006). A busca do consumidor por alimentos saudáveis, bem como a discrepância entre a ingestão de cálcio e as recomendações nutricionais diárias, propiciou um rápido crescimento de um dos segmentos da indústria de alimentos que visa contribuir para o alcance de uma dieta de melhor qualidade, principalmente dos produtos enriquecidos com cálcio (KONAR, N.; POYRAZOGLU, E.S.; ARTIK, N., 2015).

Além dos benefícios à saúde do consumidor, o cálcio também é utilizado no tratamento de produtos hortícolas, pois quando administrado em baixas concentrações produz efeitos desejáveis, retardando a maturação e a senescência, e controlando desordens fisiológicas. O cálcio tem um papel especial na manutenção da estrutura de frutos, pois interage com a pectina da parede celular formando o pectato de cálcio, que proporciona uma textura mais firme aos frutos (CYBULSKA; ZDUNEK; KONSTANKIEWICZ, 2011).

O melão amarelo (*Cucumis melo* L.), também conhecido por melão espanhol, é a espécie mais cultivada no Brasil, sendo considerado um fruto de grande aceitação devido às suas qualidades sensoriais e nutricionais (COSTA et al., 2017). O melão tem sido apontado como um vegetal bastante promissor e alvo de diversas pesquisas. Alguns estudos têm avaliado a manutenção da qualidade de diferentes tipos de melões processados, avaliando o efeito do tipo de corte, aplicação de cálcio, aplicação de microrganismos probióticos, atmosfera modificada, entre outros (OLIVEIRA et al., 2014; PARREIDT; SCHMID; MÜLLER, 2018; TAPPI et al., 2016).

A impregnação a vácuo é uma operação geralmente usada em processamento de frutas e hortaliças para obter diversos tipos de produtos e, nos

últimos anos, tem sido usada com sucesso para incorporar vitaminas, minerais (como o cálcio) e microrganismos probióticos (TIWARI; THAKUR, 2016; RADZIEJEWSKA-KUBZDELA; BIEGANSKA-MARECIK; KIDON, 2014).

Estudos têm indicado o uso de diversas técnicas capazes de promover a incorporação de cálcio em alimentos. Além da impregnação a vácuo (TAPPI et al., 2016), o ultrassom de alta intensidade (YILMAZ; BILEK, 2018) e a imersão em pressão atmosférica (PARREIDT; SCHMID; MÜLLER, 2018) têm sido descritas com sucesso na impregnação de cálcio em frutas para diversos fins.

Entretanto, estudos sobre o efeito combinado da impregnação com sais de cálcio através da aplicação de vácuo, ultrassom, seguido da secagem para obtenção de melão seco enriquecido nutricionalmente são escassos. Portanto, esta pesquisa tem como objetivo elaborar melão desidratado fortificado com cálcio pelas técnicas de impregnação a vácuo e ultrassom.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Melão (*Cucumis melo* L.)

2.1.1 Aspectos gerais

O melão (*Cucumis melo* L.) pertence à família Curcubitacea, plantas de crescimento rasteiro com várias ramificações, sendo originário da África, mas cultivado em vários países do Mediterrâneo, Ásia e América. Sua grande variabilidade genética permite a adaptação em diferentes regiões, sendo cultivadas espécies com muitas formas, cores e aromas (BISOGNIN, 2002). Considerada uma espécie polimórfica, há diferenças entre suas formas botânicas quanto à sensibilidade ao frio, capacidade de conservação, atividade metabólica, forma, tamanho do fruto e estrutura da polpa e da casca, que tem coloração variada desde laranja escuro até branco e verde (BARRETO, 2011).

A China é o maior produtor mundial, sendo responsável por cerca de 51,3% da produção mundial. Há uma grande ascensão na produção e comercialização do melão em todo mundo, sendo o Brasil um dos países com grande aumento de áreas plantadas e investimentos, considerado o décimo primeiro maior produtor mundial (FAO, 2015).

A região Nordeste destaca-se como a principal região produtora do país, responsável por 95% da produção, com destaque para os estados do Rio Grande do Norte (o Município de Mossoró apresenta a maior área plantada do Brasil) e o Ceará, que mantêm a liderança em área e produção, tendo produzido, juntos, em 2013, 82,5% do total produzido no país, seguidos, em ordem decrescente de produção, pelos estados da Bahia, de Pernambuco e do Rio Grande do Sul. Em Pernambuco, os principais municípios produtores de melão são Inajá e Floresta. Em termos de melhor produtividade média, no Brasil, destacam-se os municípios de Macau e Galinhos (RN), Floresta (PE) e Aracati (CE) (IBGE, 2015).

2.1.2 Classificação comercial

Os principais melões produzidos comercialmente pertencem a dois grupos, *Cucumis melo* var. *inodorus* Naud. e *Cucumis melo* var. *cantaloupensis* Naud., respectivamente, classificados como inodoros e aromáticos (COSTA et al., 2017).

Os inodoros possuem casca lisa ou com estrias, com uma coloração amarela ou verde escura, polpa esbranquiçada, boa capacidade de conservação pós-colheita, sendo mais resistentes que os aromáticos, suportando um período de até 30 dias após a colheita. As espécies cultivadas no Brasil são o Melão Amarelo, o Pele de Sapo e o Honeydew (Orange). Já os aromáticos apresentam superfícies rendilhadas, verrugosas ou escamosas, podendo apresentar gomos e polpa de coloração alaranjada ou esverdeada. Fazem parte dos aromáticos as espécies Cantaloupe, Charentais e Gália (BARRETO, 2011).

A Figura 1 mostra os principais tipos de melão comercializados, sendo os representados nas Figuras 1a, 1b, 1c pertencentes ao grupo dos aromáticos e as Figuras 1d , 1e e 1f, do grupo dos inodoros.



Figura 1. Principais tipos de melões comercializados no Brasil: (a) Melão Cantaloupe; (b) Melão Gália; (c) Melão Charentais; (d) Melão Amarelo; (e) Melão Pele de Sapo; (f) Melão Honeydew.

Fonte: adaptado de BARRETO (2011).

O melão amarelo, também chamado por melão espanhol, é a espécie mais cultivada no Brasil (COSTA et al., 2017). Caracterizada pela sua forma redonda

ovalada, casca amarela levemente enrugada, polpa esbranquiçada, textura macia e peso médio entre 1,2 a 2,0 kg. É a espécie de maior preferência pelos consumidores, visto que é mais resistente ao manuseio e conservação, possui qualidade sensorial considerável e maior vida de prateleira à temperatura ambiente (SENAR, 2007).

2.1.3 Importância nutricional

O melão é considerado um fruto de grande aceitação pela população devido a seu aroma e sabor, mas também por suas qualidades nutricionais. É especialmente rico em elementos minerais, em particular potássio, fósforo e magnésio, e é um fruto de valor energético reduzido, quando comparado a outros vegetais (COSTA et al., 2017). Além disso, contém substâncias com função antioxidante, como ácidos orgânicos e pigmentos, entre eles, os carotenóides (b-caroteno, luteína e zeaxantina), os quais estão associados a diversos benefícios à saúde humana (SENAR, 2007). A Tabela 1 apresenta os dados da composição do melão a cada 100 g da parte comestível.

Tabela 1. Composição do melão (*Cucumis melo* L.) por 100 g da parte comestível.

Características	Quantidade
Umidade (%)	93
Energia (kcal)	25
Proteína (g)	0,61
Lipídeos (g)	0,15
Carboidrato (g)	5,7
Fibra alimentar (g)	1,22
Cinzas (g)	0,5
Cálcio (mg)	2,53
Magnésio (mg)	4,93
Fósforo (mg)	8,14
Sódio (mg)	8,96
Potássio (mg)	173
Vitamina C (mg)	6,97

Fonte: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA), 2016.

O melão tem sido apontado como uma fruta bastante promissora para elaboração de produtos. Alguns estudos têm avaliado a manutenção da qualidade de diferentes tipos de melões processados, verificando o efeito do tipo de corte, a aplicação de cálcio, a inserção de microrganismos probióticos, atmosfera modificada, entre outros (OLIVEIRA et al., 2014; PARREIDT; SCHMID; MÜLLER, 2018; TAPPI et al., 2016).

2.2 Cálcio

2.2.1 Importância no organismo

O cálcio é um dos minerais mais importantes e mais abundantes do corpo humano, cujas funções estão relacionadas à mineralização óssea e à função metabólica (HEANEY, 2006). É necessário para a formação e manutenção da matriz óssea, na transmissão do impulso nervoso, participa do processo de coagulação sanguínea, na atividade de diversas enzimas e para o crescimento e desenvolvimento dos ossos e dentes (FRANÇA; MARTINI, 2014).

Devido à extensa atuação do cálcio no organismo, torna-se importante o consumo em quantidades adequadas para a manutenção da saúde do indivíduo. Entretanto, a deficiência desse nutriente ocorre em grandes segmentos da população nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, e tem sido epidemiologicamente associada a várias doenças crônicas, incluindo osteoporose, hipertensão, obesidade e câncer de cólon (GARCIA et al., 2014).

2.2.2 Importância nutricional

Conforme preconiza o *Institute of Medicine* (IOM), através da *Dietary Reference Intakes* (DRI), a necessidade de cálcio do organismo varia conforme a faixa etária, sendo maior em períodos de rápido crescimento, como a adolescência (1300 mg/dia). Na idade adulta, a necessidade diária de cálcio é em torno de 1000 mg, podendo requerer valores maiores em situações especiais, como na pós-menopausa (1200 a 1300 mg/dia) (IOM, 2011).

Nos últimos anos, o padrão alimentar da população brasileira vem passando por um processo de transição que tem refletido uma inadequação dietética,

principalmente no que se refere à ingestão de vitaminas e minerais (IBGE, 2011). Segundo dados de consumo alimentar obtidos pela Pesquisa BRAZOS (Brazilian Osteoporosis Study), 90% dos entrevistados ingerem apenas 40% (400 mg) da recomendação diária de cálcio preconizada pela DRI (PINHEIRO et al., 2010).

A principal fonte alimentar de cálcio para a maioria das pessoas é o leite e seus derivados. A ingestão de quatro copos (240 mL) de leite é suficiente para atingir as recomendações para indivíduos adultos. As verduras verde-escuras, como brócolis e couve, são fontes alternativas de cálcio, porém a quantidade e biodisponibilidade do cálcio nesses alimentos são menores quando comparadas ao leite e seus derivados (PEREIRA et al., 2009). Contudo, indivíduos com intolerância à lactose ou com alergia a algum componente do leite, geralmente apresentam menor ingestão de cálcio devido à abstinência no consumo de produtos lácteos (HEANEY, 2013).

Dessa forma, a fortificação/ enriquecimento de alimentos vem sendo utilizada como um recurso de baixo custo na prevenção de carências nutricionais em muitos países. Diversos alimentos, além dos leites e derivados, têm sido submetidos a esse processo de fortificação, mostrando-se eficientes e bem tolerados (WHITING et al., 2016).

2.2.3 Fortificação / enriquecimento de alimentos

A busca do consumidor por alimentos saudáveis, bem como a inadequação entre a recomendação e o consumo de cálcio, têm estimulado o desenvolvimento de estratégias que possibilitem a maior ingestão do nutriente, favorecendo a crescente comercialização de produtos alimentares fortificados com cálcio (WHITING et al., 2016).

Conforme definido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), fortificação refere-se à prática de aumentar deliberadamente o conteúdo de um micronutriente essencial, ou seja, vitaminas ou minerais em um alimento, independentemente dos nutrientes estarem originalmente no alimento antes do processamento ou não, de modo a proporcionar um benefício à saúde. Certos tipos de fortificação são mais precisamente chamados de enriquecimento, no qual os micronutrientes adicionados

aos alimentos são aqueles que são perdidos durante o processamento (WHO, 2006).

Segundo a Portaria nº 31 de 13 de janeiro de 1998, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), considera-se alimento fortificado/enriquecido ou simplesmente adicionado de nutrientes, todo alimento ao qual for adicionado um ou mais nutrientes essenciais contidos naturalmente ou não no alimento, com o objetivo de reforçar o seu valor nutritivo e/ou prevenir ou corrigir deficiência demonstrada em um ou mais nutrientes, na alimentação da população (BRASIL, 1998). O produto obtido deve fornecer no mínimo 15%, para alimentos líquidos, e 30%, para alimentos sólidos, da Ingestão Diária Recomendada (IDR), em 100 mL ou 100 g do produto pronto para consumo (BRASIL, 2005).

2.2.4 Aplicação em alimentos

Além dos benefícios à saúde do consumidor, o cálcio também é utilizado no tratamento de produtos hortícolas para manter o funcionamento da célula vegetal, estrutura e estabilidade através da manutenção da integridade da parede celular. Esta manutenção se dá pela interação dos íons de cálcio com a pectina da parede celular, na qual há formação de pontes intermoleculares pela interação com os grupos carboxilas livres dos polímeros de ácido péctico para formar sais insolúveis com ligações iônicas entre as moléculas da pectina. Isto resulta na formação do pectato de cálcio, proporcionando adesão entre as células, textura mais firme e resistência mecânica do tecido vegetal (CYBULSKA; ZDUNEK; KONSTANKIEWICZ, 2011).

Quando aplicado em baixas concentrações o cálcio está relacionado a diversos efeitos desejáveis na fisiologia dos vegetais. Além do aumento da firmeza da polpa, seu uso geralmente resulta na redução das taxas de respiração e produção de etileno, retardando a maturação e a senescência, controlando distúrbios fisiológicos e a ocorrência de doenças. A presença de cálcio também limita a ação da enzima pectolítica poligalacturonase, bem como da polifenoloxidase, responsável pelo escurecimento enzimático, uma vez que o pectato de cálcio formado é resistente à degradação das mesmas (SILVEIRA et al., 2011).

Vários sais são utilizados como fontes de cálcio e, na literatura, são encontrados estudos sobre usos e implicações quando impregnados em alimentos. O carbonato e o citrato de cálcio são os principais sais adicionados aos alimentos, a fim de aumentar o valor nutricional. Outros sais utilizados na indústria alimentícia são o lactato, o cloreto, o fosfato, o propionato, o ascorbato e o gluconato, usados quando o principal objetivo é a melhoria da firmeza do produto. Embora benéfico para a textura, o uso de cloreto de cálcio deve ser analisado para que não possa comprometer a qualidade sensorial (LUNA-GUZMÁN; BARRETT, 2000; PEREIRA et al., 2009; SILVEIRA et al., 2011).

Estudos têm indicado o uso de diversas técnicas capazes de promover a incorporação de cálcio em alimentos. Tecnologias como a impregnação a vácuo (TAPPI et al., 2016), o ultrassom de alta intensidade (YILMAZ; BILEK, 2018) e a imersão em pressão atmosférica (PARREIDT; SCHMID; MÜLLER, 2018) têm sido descritas com sucesso na impregnação de cálcio em frutas para diversos fins.

2.3 Impregnação a vácuo

2.3.1 Aspectos gerais

Durante os últimos anos, um grupo algumas tecnologias tem crescido significativamente em popularidade por causa do interesse na formação de uma estrutura que impeça a deterioração de compostos bioativos. Entre estas tecnologias pode-se citar a microencapsulação, o uso de filmes e revestimentos comestíveis e a impregnação a vácuo (TIWARI; THAKUR, 2016).

A impregnação a vácuo (IV) é uma tecnologia em que o alimento é imerso em uma solução impregnante, a fim de promover a incorporação de compostos fisiologicamente ativos na estrutura porosa de alimentos, visando melhorar suas propriedades sensoriais e/ou funcionais. Caracteriza-se pela troca do gás e do líquido aprisionados dentro dos poros do alimento por um líquido externo, devido aos gradientes de pressão promovidos pela aplicação de vácuo, seguido do restabelecimento da pressão atmosférica (FITO; PASTOR, 1994; FITO et al., 1996).

Atualmente, devido a maior busca dos consumidores por produtos saudáveis, tem havido grande interesse na utilização da IV para a produção de novos alimentos funcionais, cuja técnica facilita a introdução de, por exemplo, probióticos, vitaminas e

minerais na matriz estrutural de frutas e hortaliças (RADZIEJEWSKA-KUBZDELA; BIEGANSKA-MARECIK; KIDON, 2014). Produtos impregnados podem ser comercializados como alimentos minimamente processados funcionais frescos ou desidratados de modo a obter uma maior estabilidade e durabilidade (FITO et al., 2001).

2.3.2 Mecanismo de ação

Três fenômenos estão associados ao processo de IV: saída de gases, deformação e relaxação da matriz sólida e entrada de líquido (TIWARI; THAKUR, 2016). A Figura 2 mostra um esquema de como ocorre todo esse processo.

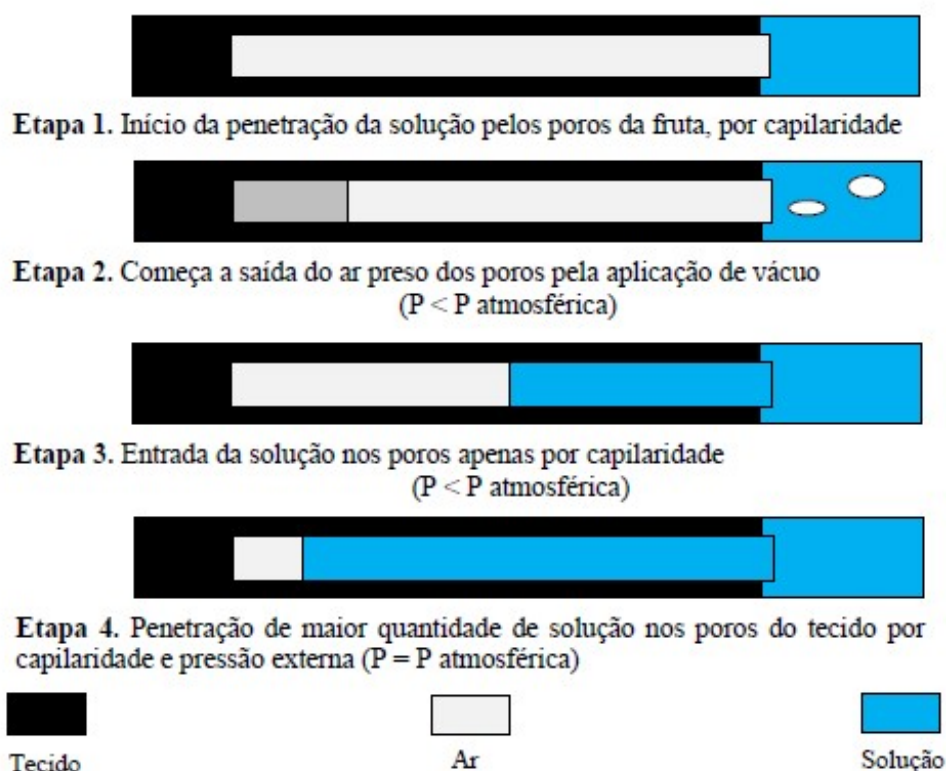


Figura 2. Esquema do processo de impregnação a vácuo. Adaptado de Fito e Pastor (1994).

No primeiro passo, o produto submerso em solução impregnante é submetido a uma pressão subatmosférica (P_1) por um dado período de tempo (t_1), suficiente para a retirada parcial do gás do alimento. Durante esse período, há a expansão do gás ocluso nos poros, que flui para fora da amostra, levando parte do líquido nativo presente no interior dos poros, até alcançar o equilíbrio, quando a pressão interna se iguala à pressão de vácuo aplicada. Nesse momento, ocorre a penetração de certa

quantidade do líquido externo nos poros, devido à ação das forças capilares. Após este período, a pressão atmosférica (P_2) é restabelecida e o produto é mantido imerso por um tempo (t_2). Nessa etapa, o gás residual na amostra é comprimido, resultando na entrada da solução externa pela ação do mecanismo hidrodinâmico (HDM) (FITO et al., 1996).

Considerando a estrutura porosa de alguns alimentos e a existência de gás no interior destes poros, Fito e Pastor (1994) propuseram uma teoria para explicar a impregnação a vácuo de alimentos, denominada mecanismo hidrodinâmico (HDM). Esse mecanismo consiste em promover variações de pressão no sistema, fazendo com que ocorra impregnação de solução na matriz através da geração de gradientes de pressão macroscópicos e dos mecanismos de capilaridade e difusão, reduzindo o tempo do processo de transferência de massa.

No entanto, o preenchimento dos poros pela solução externa e a deformação do volume da amostra implicam mudanças em propriedades estruturais e de composição (AGUILERA; CHIRALT; FITO, 2003). O líquido que é arrastado para fora do poro pelo gás que se expande, pode induzir a efeitos irreversíveis devido à força mecânica. Esses efeitos geralmente levam a perda da rigidez da estrutura provocada pela ruptura nas junções da parede celular. Porém, uma vez que os vegetais utilizados não são submetidos a altas temperaturas, mudanças sensoriais de atributos, como cor, sabor, textura e aroma são minimizadas (MORAGA et al., 2009).

2.3.3 Aplicabilidade

A IV tem diversas aplicações em processos que envolvem operações sólido-líquido, como salga, desidratação osmótica, acidificação, adição de conservantes e adição de componentes nutricionais. Além disso, também pode ser utilizada como um pré-tratamento em processos de secagem, congelamento, bem como na prevenção do escurecimento enzimático e oxidativo sem o uso de antioxidantes, devido à remoção do oxigênio dos poros (BETORET et al., 2011).

Esta tecnologia tem sido usada com sucesso para incorporar vitaminas, minerais, antioxidantes, enzimas, reguladores de pH, antimicrobianos, fibra alimentar, probióticos, prebióticos e simbióticos, em diversas matrizes alimentares, inclusive em frutas e hortaliças (DEROSSÍ; DE PILLI; SEVERINI, 2013; LIMA et al.,

2016, OLIVEIRA et al., 2014; TAPPI et al., 2016; TIWARI et al., 2018). Contudo, na impregnação de soluções à estrutura porosa de frutas, é necessário o conhecimento da porosidade do produto e a viabilidade da penetração do líquido durante o processo de IV (FITO; PASTOR, 1994).

A literatura descreve estudos realizados sobre a incorporação de sais de cálcio por meio de impregnação a vácuo em alimentos de origem vegetal, tendo como principais objetivos avaliar as modificações nas propriedades físico-químicas, sensoriais e nutritivas (RADZIEJEWSKA-KUBZDELA; BIEGANSKA-MARECIK; KIDON, 2014). Lima et al. (2016), com o objetivo de desenvolver abacaxi desidratado enriquecido com cálcio por IV e analisar a influência do sal nas características estruturais da fruta, encontraram que o processo de impregnação a vácuo aumentou 11 vezes a concentração de cálcio nas amostras quando comparada com a in natura. Além disso, mostraram que a aplicação do vácuo e a adição de cálcio alteram as propriedades mecânicas do produto final, conferindo maior crocância.

Ao estudarem a aplicação da IV no desenvolvimento de chips de batatas enriquecidas com cálcio, Tiwari et al. (2018) relataram que foi possível aumentar a concentração de cálcio nas batatas fritas de 154,65 mg/100g (controle) para 700 mg/100g (fortificado) sob variáveis de processo pré-definidas do estudo. Os chips fortificados apresentaram 4,5 e 7,1 vezes maior teor de cálcio que o controle e a versão comercial, respectivamente.

Pode-se afirmar que o enriquecimento de vegetais com minerais, como o cálcio, pela utilização da técnica de impregnação a vácuo, é uma alternativa promissora para desenvolver uma ampla variedade de produtos funcionais. A impregnação a vácuo apresenta-se como um tratamento efetivo para modificar a composição de vegetais pela incorporação de substâncias que interferem nos fluxos moleculares durante o processamento (TIWARI; THAKUR, 2016).

2.4 Ultrassom

2.4.1 Aspectos gerais

Atualmente, novas técnicas de preservação de alimentos têm sido estudadas, baseadas na crescente busca do consumidor por alimentos mais saudáveis, que apresentem maior segurança microbiológica, maior tempo de prateleira, além de causar o mínimo possível de alterações na qualidade nutricional e sensorial dos alimentos. Concomitantemente, essas novas tecnologias visam atender cada vez mais a necessidade da indústria na redução de custos e do impacto ambiental (VILLAMIEL et al., 2017).

O ultrassom tem atraído a atenção de muitos pesquisadores por ser uma tecnologia inovadora em processamento de alimentos, capaz de modificar a estrutura da matéria-prima através de efeitos físicos, químicos e mecânicos (RASTOGI, 2011). Pode-se definir ultrassom como ondas sonoras com frequência acima de 20 kHz, que podem ser propagadas através de meio sólido, líquido e gasoso. As ondas acústicas são classificadas de acordo com frequência audível pelo ouvido humano, a qual varia de 20 Hz a 20 kHz. Frequências abaixo de 20 Hz são classificadas como infrassom e acima de 20 kHz como ultrassom (CÁRCEL et al., 2012).

2.4.2 Mecanismo de ação

As ondas ultrassônicas podem ser classificadas quanto à intensidade de duas formas: baixa intensidade (potência $< 1 \text{ W/cm}^2$) e alta frequência ($> 100 \text{ KHz}$) ou alta intensidade (potência entre $10\text{-}1000 \text{ W/cm}^2$) e baixa frequência ($20 - 100 \text{ kHz}$). As ondas de baixa intensidade são utilizadas para obter informações sobre o meio em que se propagam, sem que ocorra destruição do mesmo, sendo uma importante ferramenta na avaliação da qualidade dos produtos. Já as aplicações de alta intensidade são aquelas que têm por objetivo produzir efeitos permanentes no meio, através de modificações físicas, químicas e mecânicas (SORIA; VILLAMIEL, 2010).

Responsável por grande parte dos efeitos do ultrassom sobre a matriz dos alimentos, o fenômeno da cavitação é originado quando a onda ultrassônica atravessa um meio líquido, provocando alternância de ondas de compressão (pressão positiva) e rarefação (pressão negativa), produzindo bolhas no líquido, conforme ilustrado na Figura 3.

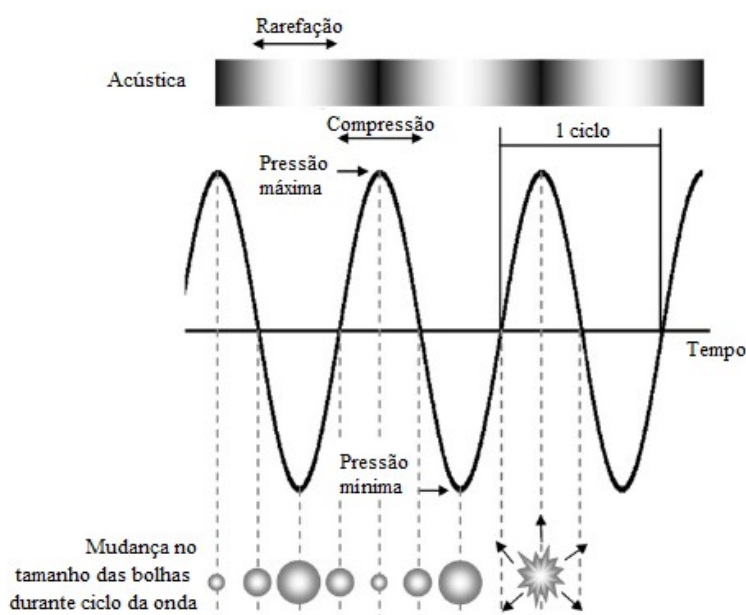


Figura 3. Fenômeno da cavitação (adaptado de SORIA; VILLAMIEL, 2010).

À medida que as ondas se propagam na matriz alimentar, a rápida compressão e expansão das bolhas, denominado efeito esponja, pode levar a uma ruptura dos tecidos e a consequente formação de cavidades e canais microscópios (CÁRCEL et al., 2012). Acredita-se que a presença desses microcanais seja o principal efeito do ultrassom no aumento dos fenômenos de transferência de massa no processamento de alimentos, fato benéfico para remoção de umidade que está fortemente ligada ao sólido (FUENTE-BLANCO et al., 2006).

O grau da cavitação pode ser influenciado por diversos fatores, são eles: frequência da onda (quanto menor a frequência, maior a bolha, e consequentemente, maior a energia liberada ao explodir), amplitude da onda (quanto maior a amplitude, mais intensa é a cavitação), temperatura e viscosidade do líquido, tensão superficial, pressão de vapor, natureza e concentração de gás dissolvido, presença de partículas sólidas, temperatura e pressão do tratamento (VILLAMIEL et al., 2017).

2.4.3 Aplicação na indústria de alimentos

O ultrassom é uma ferramenta que tem sido bastante estudada na tecnologia de alimentos, principalmente nos processos que envolvam o tratamento com alta intensidade, demonstrado pelo efeito das ondas mecânicas na estrutura dos

alimentos. Além de ser bastante utilizado na inativação de microrganismos e de enzimas, o ultrassom atua no melhoramento de operações que envolvem transferência de massa, como secagem, desidratação osmótica, extração de componentes de alimentos, filtração, congelamento, alterações na viscosidade e textura, emulsificação, desgaseificação e amaciamento de carnes (MIANO; IBARZ; AUGUSTO, 2016; MUSIELAK; MIERZWA; KROEHNKE, 2016; VILLAMIEL et al., 2017).

O efeito antimicrobiano do ultrassom é devido, principalmente, às pressões e temperaturas locais e extremas produzido durante a cavitação. Esse fenômeno provoca afinamento da membrana citoplasmática, aquecimento localizado e produção de radicais livres nocivos aos microrganismos (PIYASENA et al., 2003). Outro fato importante a ser mencionado é a capacidade de desnaturação proteica pelo ultrassom devido ao cisalhamento e a compressão causados pelas ondas ultrassônicas na matriz alimentar, o que poderia justificar a aplicação dessa tecnologia na inativação enzimática (FELLOWS, 2009). Porém, o ultrassom é mais eficaz na inibição da atividade microbiana e enzimática quando combinado com outras técnicas, como pressão (manosonicação), calor (termosonicação) ou ambos (manotermosonicação), ao contrário dos efeitos inibitórios mínimos de sua aplicação individual (CÁRCEL et al., 2012).

O aumento da transferência de massa pela tecnologia de ultrassom tem sido atribuído a mecanismos diretos, relacionados ao efeito esponja, e indiretos, relacionados com a formação de canais microscópios no produto pela cavitação, causado pelas tensões mecânicas associadas à transmissão das ondas (MIANO; IBARZ; AUGUSTO, 2016). Esse fenômeno também pode ser benéfico para remoção de umidade que está fortemente ligada ao sólido. As forças envolvidas nesse mecanismo podem ser maiores que a tensão superficial que mantém o conteúdo de umidade dentro dos capilares da matriz alimentar, criando canais microscópicos que facilitam a remoção de água do produto (FUENTE-BLANCO et al., 2006).

O uso do ultrassom também está associado a melhores resultados em procedimentos que envolvem a perda de água e ganho de sólidos, como na desidratação osmótica. Dessa forma, ao mesmo tempo em que a formação dos canais pela cavitação aumenta o fluxo de água do alimento para a solução, pela diferença na pressão osmótica, favorece também a incorporação de solutos na

matriz alimentar, através de gradientes de concentração (RASTOGI, 2011). Portanto, o influxo de massa na matriz alimentar durante o processamento pode ser usado como uma abordagem para incorporar nutrientes (MIANO; AUGUSTO, 2018).

Vários estudos têm demonstrado o efeito relacionado a uma maior difusividade da água e melhores taxas de secagem quando há associação do ultrassom e da desidratação osmótica como pré-tratamentos em alimentos desidratados (AZOUBEL et al., 2015; MEDEIROS et al., 2016; SILVA et al., 2016). Contudo, poucos estudos abordam o uso do ultrassom na incorporação de substâncias em alimentos.

Deng e Zhao (2008) avaliaram o efeito do pré-tratamento osmótico com vácuo e ultrassom na incorporação de cálcio em maçãs e encontraram que as duas técnicas impregnaram com sucesso os íons de cálcio em tecidos de maçã, quando comparado às amostras sem impregnação. Miano, Ibarz e Augusto (2016) estudaram a ação do ultrassom nos fenômenos de transferência de massa pela incorporação de pigmentos em cilindros de melão. Os resultados mostraram que a retenção do pigmento no melão aumentou quase o dobro se comparados ao controle. Tal fato pode ser explicado pelo efeito esponja e pela cavitação nos cilindros de melão, fazendo com que a solução de pigmento fluísse através dos canais microscópios pré-formados, aumentando a transferência de massa e reduzindo a resistência interna.

2.5 Secagem

2.5.1 Aspectos gerais

A secagem, denominada também de desidratação ou dessecação, é um dos métodos mais antigos de conservação de alimentos, caracterizado, basicamente, pela remoção da umidade de um material. É uma operação unitária que é bastante aplicada na indústria, com o principal objetivo de prolongar a vida útil dos alimentos por meio da redução da atividade de água (AGUILERA; CHIRALT; FITO, 2003).

A secagem é amplamente utilizada na obtenção de frutas e hortaliças desidratadas. Segundo a Resolução nº 272 de 22 de setembro de 2005 da ANVISA, fruta seca é o produto obtido pela perda parcial da água da fruta madura, inteira ou em pedaços, por processos tecnológicos adequados que possibilitem a manutenção

de, no máximo, 25% de umidade. O produto é designado simplesmente pelo nome da fruta que lhe deu origem, seguida da palavra "seca". Os produtos preparados com mais de uma espécie de frutas, são denominados "frutas secas mistas", seguida do nome das frutas componentes. Pode ser usada também a palavra "passa", em lugar de "seca" (BRASIL, 2005).

2.5.2 Fenômeno da secagem

O processo de secagem convectiva é baseado na exposição do produto, sob condições controladas, a um fluxo de ar quente para remover, por evaporação, o maior conteúdo de água normalmente presente em alguns alimentos. A ação do calor pode ser proveniente do sol, ar quente, fumaça, entre outros (FELLOWS, 2009).

Os métodos de desidratação mais empregados na indústria de alimentos são desidratação com ar quente, desidratação por contato direto com uma superfície quente, desidratação por aporte de energia eletromagnética e desidratação por evaporação súbita. Dentre essas, a técnica mais utilizada é a secagem convectiva forçada com ar quente (CELESTINO, 2010).

Para que haja a evaporação de água da superfície do material ao ambiente, é necessário que a água seja transportada do interior do sólido até a superfície. Esse transporte é analisado pelos mecanismos de transferência de massa, que indicará a dificuldade de secagem nos materiais (PARK et al., 2001).

A cinética de secagem pode ser definida como sendo a velocidade com que um material perde umidade, dependendo das suas propriedades específicas, da temperatura, velocidade do ar de secagem e umidade relativa do ar (BROD et al., 1999). A Figura 4 ilustra o comportamento característico do conteúdo de umidade, a taxa de secagem e a temperatura do produto em função do tempo.

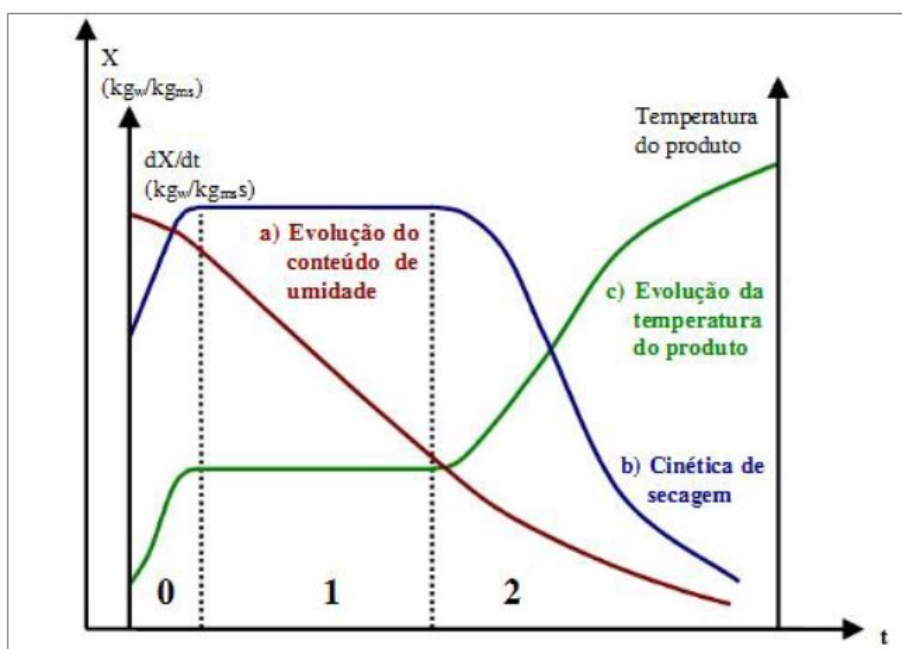


Figura 4. Curvas típicas de secagem. (BROD et al., 1999).

A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem, conteúdo de umidade do produto em base seca (X), em relação à evolução do tempo de secagem (t). A curva (b) representa a velocidade (taxa) de secagem do produto, variação do conteúdo de umidade do produto por tempo, dX/dt em relação à evolução do tempo. A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (BROD et al., 1999).

O processo de secagem, baseado na transferência de calor e de massa, pode ser dividido em três períodos, de acordo com Park et al. (2001):

- Fase 0: início da secagem. Nesse período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água.
- Fase 1: taxa constante de secagem. A água evaporada é a água livre. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a velocidade de secagem é constante. Essa situação irá permanecer até não haver mais quantidade de água suficiente para evaporação.
- Fase 2: taxa de secagem decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A temperatura do produto se eleva, alcançando a temperatura do ar de secagem. O

processo é encerrado no momento em que o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem.

2.5.3 Aspectos gerais da secagem em alimentos

Muitos alimentos passam pelo processo de secagem por necessidade de conservação, outros para adquirirem sabores refinados (CELESTINO, 2010). Contudo, devido ao uso de temperaturas elevadas durante o processo, pode haver redução significativa do valor nutritivo e sensorial do produto desidratado, incluindo cor, sabor e textura, bem como degradação de compostos bioativos do alimento (AGUILERA; CHIRALT; FITO, 2003). Na maioria dos casos, no início da desidratação, aparece uma camada relativamente ressecada na zona superficial do produto, podendo ocasionar o endurecimento superficial e retração dos tecidos (FELLOWS, 2009).

Produtos perecíveis possuem elevados teores de umidade, como o melão. Dessa forma, além de aumentar o tempo de vida útil do produto, a desidratação de tais produtos apresenta inúmeras vantagens, tais como: maior concentração dos nutrientes devido à perda de água (dependendo da técnica de secagem utilizada, pode haver maior ou menor conservação de nutrientes); maior estabilidade à temperatura ambiente; inibição da ação de microrganismos; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; facilidade de transporte, manuseio e estocagem, pois o alimento seco é leve, compacto e estável; reduz perdas pós-colheitas e é um processo econômico, visto que os secadores semi-industriais têm baixo custo. Além disso, os produtos secos estimulam a diversificação na fabricação de alimentos, bem como oferecem opção para refeições leves e rápidas (CELESTINO, 2010). Portanto, a fim de aproveitar os potenciais benefícios do melão para a saúde, além de agregar valor ao fruto, a secagem representa um dos métodos de conservação usados para estender a vida útil e aumentar potencialmente a utilização desta fruta.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Elaborar melão desidratado fortificado com cálcio pelas técnicas de impregnação com vácuo e/ou ultrassom.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar as condições de processo de fortificação do melão com cálcio;
- Estudar a cinética de secagem do melão in natura e impregnado;
- Verificar a influência do processamento nas características físico-químicas e nutricionais do melão.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matéria-prima

Foram utilizados melões do tipo Amarelo (*Cucumis melo L.*), sem sinais visíveis de danos mecânicos ou infecção, adquiridos no mercado local (Recife, PE). Na escolha do estágio de maturação para realizar os experimentos também foram adotados como critérios: teor de sólidos solúveis de 9 a 11 °Brix, coloração da casca e firmeza da polpa.

A matéria-prima foi previamente lavada em água corrente, higienizada com solução de hipoclorito de sódio na concentração de 50 mg/L por 15 minutos, enxaguada em água corrente e descascada manualmente até a remoção completa das cascas. A polpa foi separada das sementes e cortada em retângulos de (5,0 x 3,0 cm) de 0,5 cm de espessura e peso aproximado de $6,7 \pm 0,6$ g (Figura 5), utilizando-se uma faca de aço inoxidável e cortadores projetados para este fim. Em seguida, as amostras foram submetidas ao processamento.



Figura 5: Amostra de melão in natura após corte.

A Figura 6 apresenta o fluxograma do processamento e das técnicas de impregnação de cálcio em melão. Os experimentos ocorreram no Laboratório de Engenharia de Alimentos do Departamento de Engenharia Química e no Laboratório de Experimentação e Análises de Alimentos (LEAAL) do Departamento de Nutrição, ambos localizados na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

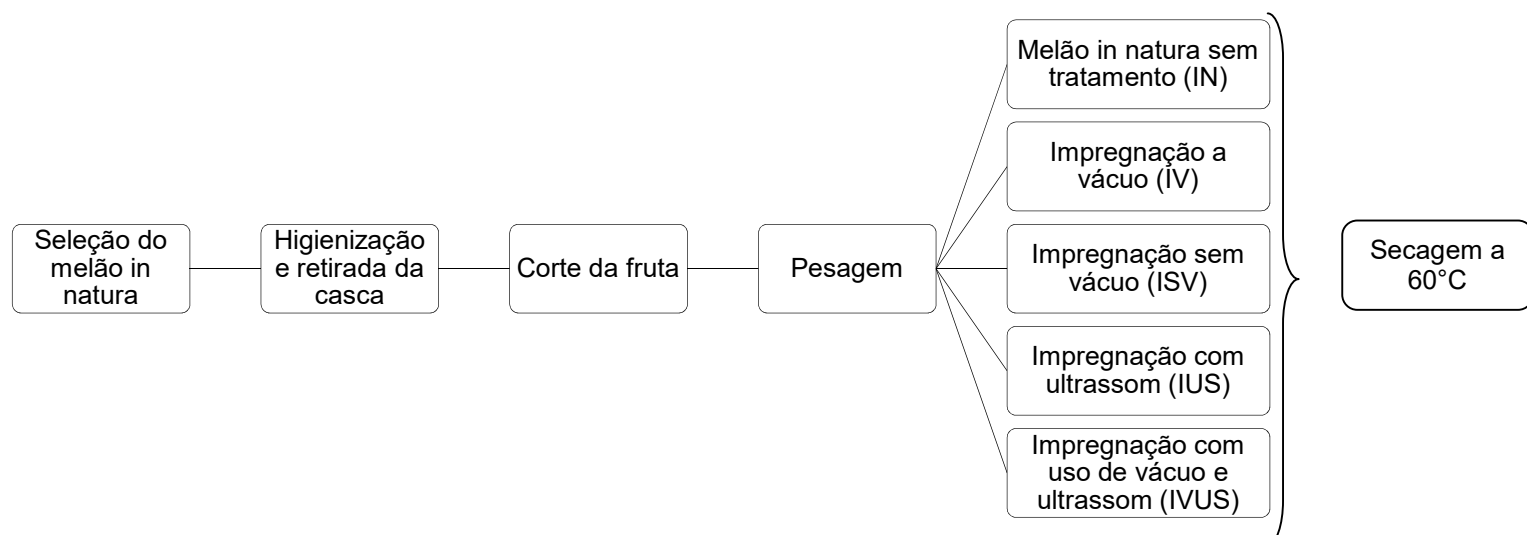


Figura 6: Fluxograma do processamento e das técnicas de impregnação de cálcio em melão.

4.2 Impregnação com cálcio

4.2.1 Preparo da solução impregnante

A solução impregnante de cálcio a 2% foi preparada diluindo o cloreto de cálcio (CaCl_2) em água destilada. As amostras de melão foram pesadas em balança digital semi-analítica (OHAUS Corporation, modelo AR2140, EUA) e colocadas em béqueres contendo a solução impregnante de cálcio. Uma razão fruta/solução de 1:20 (m/v) foi utilizada para evitar mudanças significativas de concentrações na solução durante a impregnação.

4.2.2 Métodos de impregnação

Foram realizados quatro procedimentos para estudar a impregnação com cálcio nas amostras de melão, todos a 25 °C:

- a) Impregnação a vácuo (IV): as amostras foram imersas em béqueres contendo a solução de cálcio e levadas a estufa a vácuo (Marconi, modelo MA030/12, Brasil), acoplada a uma bomba de vácuo, sob pressão de -650 mm Hg por 10 min e, em seguida, a pressão atmosférica por adicionais 10 min.
- b) Impregnação sem vácuo (ISV): as amostras foram imersas em béqueres contendo a solução de cálcio e mantidos sob pressão atmosférica por 20 min.

- c) Impregnação com ultrassom (IUS): as amostras foram imersas em béqueres contendo a solução de cálcio e levadas para um banho ultrassônico (Unique, modelo USC-2580A, Brasil), a uma frequência de 25 kHz por 10 min e, em seguida, foi desligado o ultrassom e assim permaneceu por mais 10 min.
- d) Impregnação com uso de vácuo e ultrassom (IVUS): as amostras foram colocadas em um frasco cilíndrico contendo a solução, conectado a uma bomba a vácuo, dentro do banho de ultrassom (Figura 7). Foram submetidas concomitantemente a uma frequência de 25 kHz e pressão de -650 mm Hg por 10 min, e depois de desligado o ultrassom e a bomba, por adicionais 10 min.

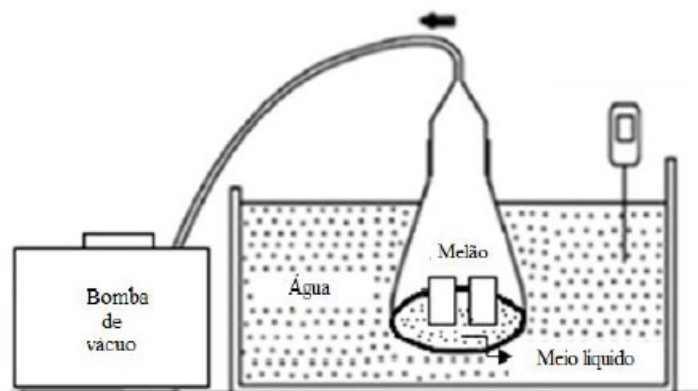


Figura 7: Esquema do sistema utilizado para impregnação com uso de vácuo e ultrassom (adaptado de BAŞLAR; KILIÇLI; YALINKILIÇ, 2015).

4.2.3 Variação de massa

A variação de massa (VM) foi determinada em triplicata para avaliar o fenômeno da transferência de massa através da pesagem das amostras submetidas aos diferentes métodos de impregnação, antes e depois de cada processo. Ao final de cada impregnação, retirou-se o excesso de solução aderido na superfície da amostra com papel absorvente, deixando-a em contato por cinco segundos de cada lado.

O processo foi avaliado em termos de ganho de massa (GM), segundo a Equação 1:

$$GM(\%) = \frac{100 (m_i - m_o)}{m_o} \quad (1)$$

Onde: m_o = massa inicial da amostra (g); m_i = massa da amostra após a impregnação (g).

4.3 Secagem

Todas as amostras com e sem impregnação foram submetidas à secagem, utilizando um secador de leito fixo (secador de bandejas) (Sulab, Brasil), de aço inoxidável, velocidade do ar de secagem 2,0 m/s e temperatura 60 °C. O sistema de operação do secador consiste da passagem de ar verticalmente através de bandejas, com recirculação, constituindo um circuito fechado (Figura 8).

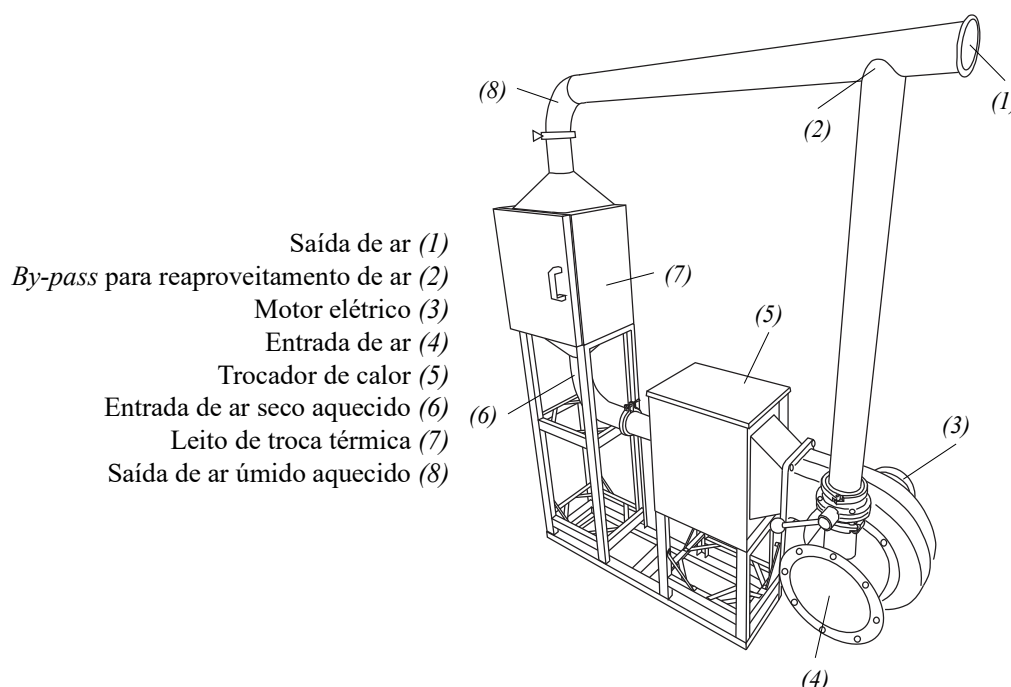


Figura 8. Esquema do secador de leito fixo com recirculação de ar (SILVA, 2018).

A massa das amostras foi obtida em balança semi-analítica. Os intervalos de tempo utilizados na pesagem foram de 15 em 15 minutos até peso constante, ou seja, até que o equilíbrio dinâmico entre a amostra e o ar de secagem fosse atingido. O estudo da cinética de secagem foi realizado a partir dos dados do adimensional de umidade (ADM) em função do tempo do processo (Equação 2).

$$ADM = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

Onde:

X_t = Umidade da amostra no tempo t (kg água/kg massa seca);

X_e = Umidade de equilíbrio (kg água/kg massa seca);

X_0 = Umidade inicial da amostra (kg água/kg massa seca).

4.4 Avaliação físico-química

Foram determinados para as amostras in natura e processadas: umidade, atividade de água, cor, textura e teor de cálcio. O teor de sólidos solúveis foi determinado apenas para as amostras frescas, como forma de padronização do grau de maturação. Todas as análises foram feitas em triplicata, exceto a análise de cor, que foi feita em quintuplicata.

4.4.1 Umidade

A determinação de umidade foi realizada pelo método de secagem em estufa (Tecnal, modelo TE-395, Brasil) a 105 °C por 24 horas (AOAC, 2002). Segundo a legislação brasileira, para que uma fruta seja considerada seca ou desidratada, ela deve apresentar um valor máximo de umidade de 25% (BRASIL, 2005). Assim, para as análises do melão nesse estudo, foi padronizada a secagem até 16% de umidade (0,19 kg de água/kg em base seca).

4.4.2 Atividade de água

A atividade de água foi medida utilizando um aparelho portátil (Decagon, PawKit, EUA), na temperatura de 25°C.

4.4.3 Sólidos solúveis

Para determinação do teor de sólidos solúveis, as amostras foram maceradas e colocadas em um refratômetro de bancada (Atago, modelo Pocket PAL-3, Brasil). Os valores obtidos nas leituras foram expressos em °Brix (AOAC, 2002).

4.4.4 Cor

Os parâmetros L^* , a^* e b^* foram obtidos utilizando-se um colorímetro previamente calibrado (Minolta, modelo CR 400, Japão). Através destes parâmetros, foi calculada a diferença média de cor (ΔE^*) entre a amostra antes e após o processamento, segundo a Equação 3:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_o^*)^2 + (a^* - a_o^*)^2 + (b^* - b_o^*)^2} \quad (3)$$

Onde:

ΔE é a diferença total de cor;

L_o^* e L^* são as luminosidades das amostras antes e após os tratamentos e secagem, respectivamente;

a_o^* e a^* são as intensidade das cores vermelha (valor positivo) e verde (valor negativo) das amostras antes e após os tratamentos e secagem, respectivamente;

b_o^* e b^* são as intensidades das cores amarela (valor positivo) e azul (valor negativo) das amostras antes e após os tratamentos e secagem, respectivamente.

4.4.5 Textura

A textura das amostras do melão in natura, impregnadas e secas foi medida como força de punção, expressa como dureza (N) da superfície do produto, usando um texturômetro (Brookfield, modelo CT3, EUA), com as amostras em temperatura ambiente. Os testes de penetração foram conduzidos com uma sonda cilíndrica de 12,7 mm de diâmetro, sendo utilizados os seguintes parâmetros: força de disparo de 6 g, velocidade constante de 1 mm/s e taxa de deformação de 60 %.

4.4.6 Determinação do teor de cálcio

O teor de cálcio nas amostras foi determinado utilizando curva analítica obtida com medidas por espectrometria de absorção atômica com chama, segundo a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Foram analisadas as amostras in natura e todas as amostras impregnadas desidratadas.

4.4.6.1 Digestão da amostra

Depois de ser submetida à impregnação e secagem, uma quantidade representativa da amostra foi triturada e transferida para cadinhos de porcelana. Esse procedimento também foi realizado com as amostras frescas. Os cadinhos foram transferidos para estufa a 105°C por 24 horas e levados à chapa aquecedora (Matoli, modelo 100M024, Brasil) para queimar a amostra até cessar o desprendimento de fumaça. Então, as amostras foram transferidas para forno mufla (Quimis, modelo Q318M24, Brasil) a 500°C e, após 4 horas, foram retiradas, umedecidas com água destilada e novamente levadas à chapa aquecedora e à mufla. Este processo foi repetido quantas vezes fossem necessárias, até a completa mineralização da amostra, ou seja, até a obtenção de cinzas claras, isentas de carvão.

Após esse processo, adicionou-se ácido clorídrico e solução de cloreto de lantânio 1% nos cadinhos, de maneira que a concentração de cada reagente na solução final fosse de 10%, sendo o conteúdo transferido para balão volumétrico de 25 mL e avolumado com água destilada. A solução de lantânio, previamente preparada, foi adicionada com o intuito de eliminar interferências de outros sais durante a leitura (IAL, 2008).

4.4.6.2 Preparo da curva analítica

Foram preparadas sete soluções padrão, de acordo com a sensibilidade e faixa linear de trabalho do equipamento, com concentrações que variaram de 0,1 mg/L a 3,0 mg/L. As soluções padrão foram preparadas de tal forma que continham os reagentes em concentrações similares às adicionadas nas amostras. Dessa forma, foram transferidas alíquotas adequadas da solução padrão intermediária de cálcio (100 mg/L) em balão volumétrico de 100 mL, avolumado com água destilada e transferido para frascos de polietileno.

4.4.6.3 Quantificação de cálcio na amostra

Após o preparo das amostras, as mesmas foram diluídas cinco e cinquenta vezes, de forma que a concentração de cálcio estivesse compreendida na faixa

linear da curva analítica. Todas as amostras foram preparadas em triplicata, além do branco dos reagentes.

A concentração de cálcio foi determinada utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica (Varian, modelo AA240FS, EUA) sob as seguintes condições: corrente da lâmpada: 10 mA; comprimento de onda: 422,7 nm; gás combustível: acetileno com suporte de óxido nitroso. A análise foi realizada no Laboratório de Instrumentação e Automação em Análise Química do Departamento de Química Fundamental – DQF/ UFPE.

4.5 Análise estatística

Os resultados obtidos foram avaliados utilizando Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey, admitindo-se um intervalo de confiança de 95%, ou seja, a um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Impregnação com cálcio

A variação de massa após a impregnação das amostras foi descrita em termos de ganho de massa, através da massa das amostras obtidas antes e depois de serem submetidas aos tratamentos. Observa-se que o ganho de massa nas diferentes amostras variou entre 0,8% e 5,6% (Tabela 2), sendo menor nas amostras submetidas ao ultrassom e maior nas amostras impregnadas a vácuo.

Tabela 2: Ganho de massa das amostras após os tratamentos em relação à massa inicial:

Tratamentos	Ganho de massa (%)
ISV	$1,7 \pm 0,7^{ab}$
IUS	$0,8 \pm 1,2^a$
IVUS	$3,8 \pm 1,4^{bc}$
IV	$5,6 \pm 1,8^c$

As médias que apresentam as mesmas letras dentro da mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5% de significância. IV = Impregnadas a vácuo; ISV= Impregnadas sem vácuo; IUS = Impregnadas por ultrassom; IVUS = Impregnadas com vácuo e ultrassom.

Os valores encontrados das amostras submetidas ao vácuo são semelhantes aos encontrados na literatura. Ao avaliar o impacto da IV com lactato de cálcio na qualidade de melão gália durante o armazenamento, Tappi et al. (2016) encontraram uma variação no ganho de massa das amostras impregnadas entre 1,08% e 10,66%, dependendo da concentração da solução impregnante e da pressão de vácuo aplicada. O processo de IV com lactato de cálcio em maçãs também provocou um ganho de massa de 1,4% a 2,5%, devido ao preenchimento dos poros da amostra pela solução externa (ASSIS, 2013).

Parreidt, Schmid e Müller (2018) encontraram valores de ganho de massa um pouco acima dos revelados nessa pesquisa, entre 9,85% e 16,69% para as amostras de melão submetidas a IV, variando de acordo com o tempo e a pressão de vácuo aplicadas. Ainda neste estudo, maiores resultados de ganho de massa

foram obtidos com um tempo de vácuo de 10 minutos, tempo necessário para atingir o equilíbrio hidrodinâmico, igual ao tempo de vácuo usado na presente pesquisa.

De acordo com a teoria da impregnação a vácuo, a aplicação de vácuo parcial a um tecido poroso envolvido por uma solução contendo compostos bioativos resulta na extração de ar contido nos espaços intercelulares e, em seguida, na restauração da pressão, a solução de impregnação penetra nos espaços intercelulares por mecanismo hidrodinâmico composto de ação capilar e gradiente de pressão. Esta substituição de ar pela solução impregnante permite uma maior difusão de componentes, podendo estar relacionada com maior ganho de peso. Dessa forma, a extensão do preenchimento dos poros, portanto, o ganho de massa, depende da porosidade do tecido da fruta, propriedades mecânicas, nível de pressão de vácuo e tempo de aplicação (BELLARY; RASTOGI, 2015; FITO et al., 1996).

Por outro lado, as diferentes condições de aplicação do vácuo podem interferir na variação de massa levando a perda de peso, conforme encontrado por Lima et al. (2016). Amostras de abacaxi submetidas a IV com cloreto de cálcio apresentaram uma perda de massa de 4,6% em relação a sua massa inicial. Também houve perda de massa em amostras submetidas a IV seguida de pulso de vácuo, variando de 8,2% a 9,8%. Assis (2013), estudando IV com lactato em maçãs, também encontrou uma redução de massa entre 2,9% e 2,6% de amostras submetidas a IV com pulso de vácuo. Nesses casos, além da ruptura das junções da parede celular e da maior facilidade na drenagem do líquido nativo durante o primeiro passo de impregnação a vácuo, a maior perda de massa observada nessas amostras também pode ser atribuída à exsudação e evaporação do líquido durante o pulso de vácuo (ASSIS, 2013; LIMA et al., 2016).

O fato das amostras submetidas ao US isoladamente, sem associação com o vácuo, terem apresentado o menor ganho de peso pode ser explicado pelos efeitos diretos e indiretos causados pela cavitação e pela formação de canais microscópios na estrutura porosa do melão, havendo predomínio da saída do líquido contido no interior da matriz tecidual em relação à incorporação de solutos (FUENTE-BLANCO et al., 2006). Esse fluxo aumentado de líquidos pode ter proporcionado uma maior perda de água quando comparado às amostras que não foram submetidas ao ultrassom.

5.2 Secagem

A Figura 9 apresenta as alterações do adimensional de umidade do melão com o tempo de secagem para as metodologias testadas.

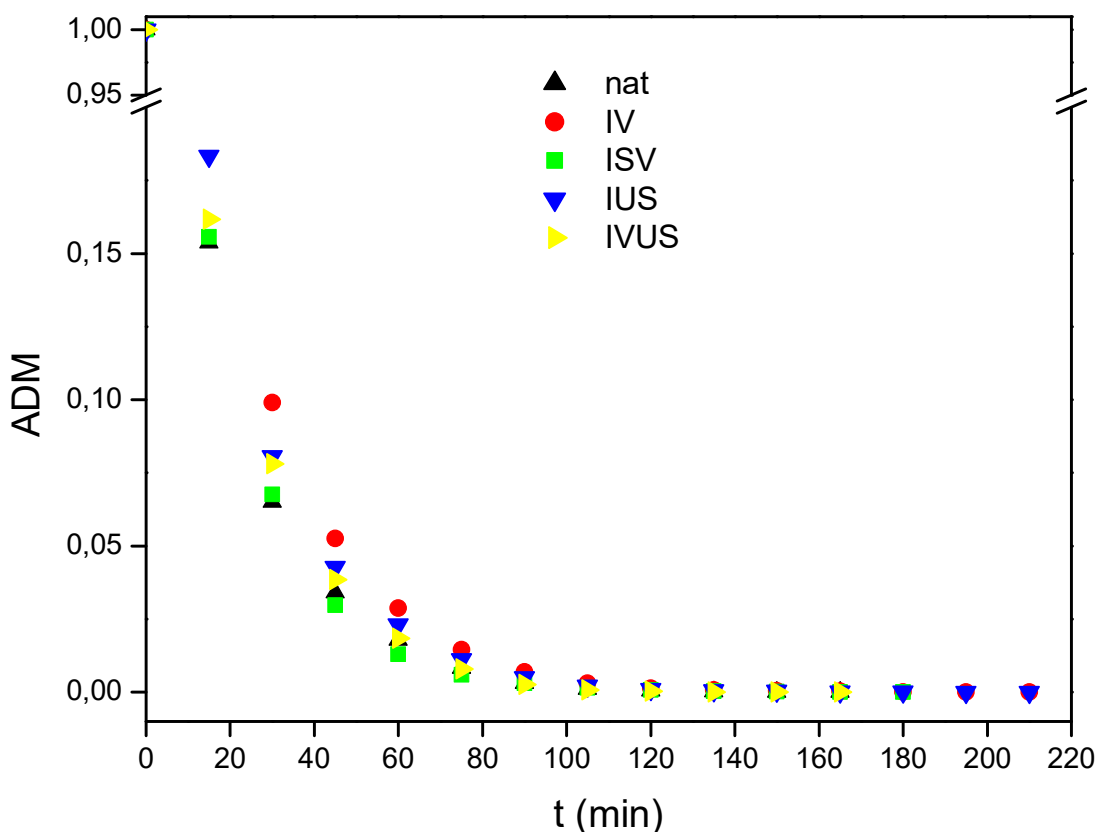


Figura 9: Adimensional de umidade (ADM) em função do tempo para o processo de secagem do melão por diferentes técnicas: Nat = In natura; IV = Impregnadas a vácuo; ISV= Impregnadas sem vácuo; IUS = Impregnadas por ultrassom; IVUS = Impregnadas com vácuo e ultrassom.

Nos resultados obtidos, é possível observar que as quatro técnicas de impregnação aplicadas causaram alguma diferença nas taxas de secagem. Porém, em todos os casos há uma curva decrescente de secagem dividida em duas fases: uma primeira fase quase constante de perda de água rápida, e uma segunda fase caracterizada por um declive na curva, que mostra uma redução na taxa de secagem até o final do processamento. Este comportamento também foi relatado por Lima et al. (2016) na secagem de abacaxi fortificado com cálcio por IV.

Na Figura 10 estão apresentadas fotografias de amostras de melão in natura e impregnadas pelas quatro técnicas estudadas, submetidas ao processo de secagem convectiva a 60 °C até o tempo necessário para atingir a umidade predefinida de 16% em base úmida.

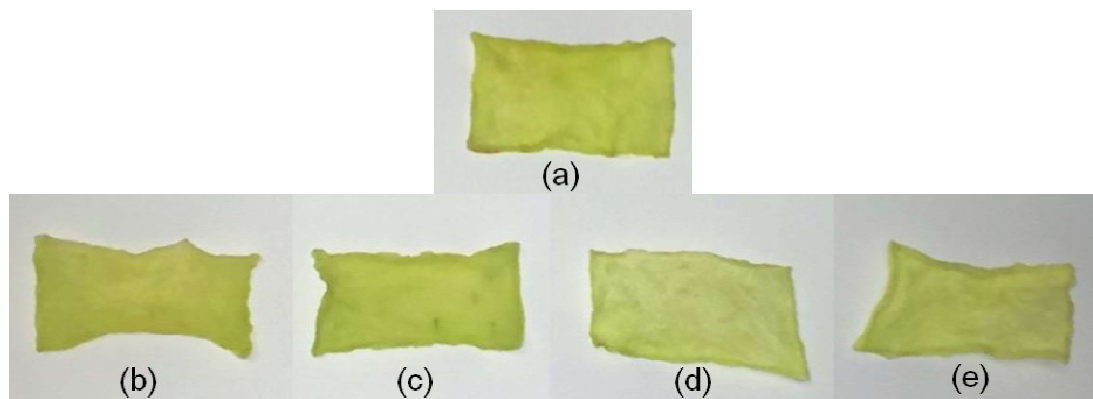


Figura 10: Amostras desidratadas de melão com umidade a 16% submetidas a diferentes técnicas de impregnação: (a) In natura; (b) Impregnadas a vácuo; (c) Impregnadas com vácuo e ultrassom; (d) Impregnadas por ultrassom; (e) Impregnadas sem vácuo.

A legislação brasileira para produtos derivados de frutas determina que frutas secas ou desidratadas (exceto frutas secas macias), devem apresentar umidade máxima de 25% (g/100 g) (BRASIL, 2005). No presente estudo, para obtenção de melões com um conteúdo de umidade de 0,19 kg de água/kg massa seca (16% em base úmida), valor abaixo do máximo permitido pela legislação, verificou-se que os melões submetidos à IV foram os que mais tardaram a atingir a umidade definida (86 min), seguido dos sonicados (78 min), dos impregnados com vácuo e ultrassom (74 min), dos in natura (73 min) e dos impregnados por imersão, sem vácuo (65 minutos) (Figura 11).

Sabe-se que a secagem convencional com ar envolve um grande gasto de energia e é bastante dispendiosa. Isso é justificado pela ocorrência simultânea da transferência de calor e de massa, que são acompanhadas pela mudança de fase. Um pré-tratamento ou a combinação deles, nesse caso, o ultrassom e o vácuo, podem ser usados para reduzir o teor inicial de água ou para modificar a estrutura dos tecidos dos frutos, de forma que o custo envolvido seja menor, bem como o

tempo de secagem seja mais rápido (SILVA et al., 2016). Tal fato não ocorreu no presente estudo. Segundo Oliveira et al. (2014), quando a amostra é imersa em uma solução contendo substâncias a serem incorporadas na matriz tecidual, o comportamento durante a secagem é modificado. A presença de solutos impregnados no tecido vegetal geralmente diminui a eficiência da secagem (OLIVEIRA et al., 2014). Corroborando com esse resultado, Janve e Singhal (2018) encontraram que amostras de flocos de arroz e macarrão de arroz fortificadas com cálcio apresentaram maior tempo de cozimento.

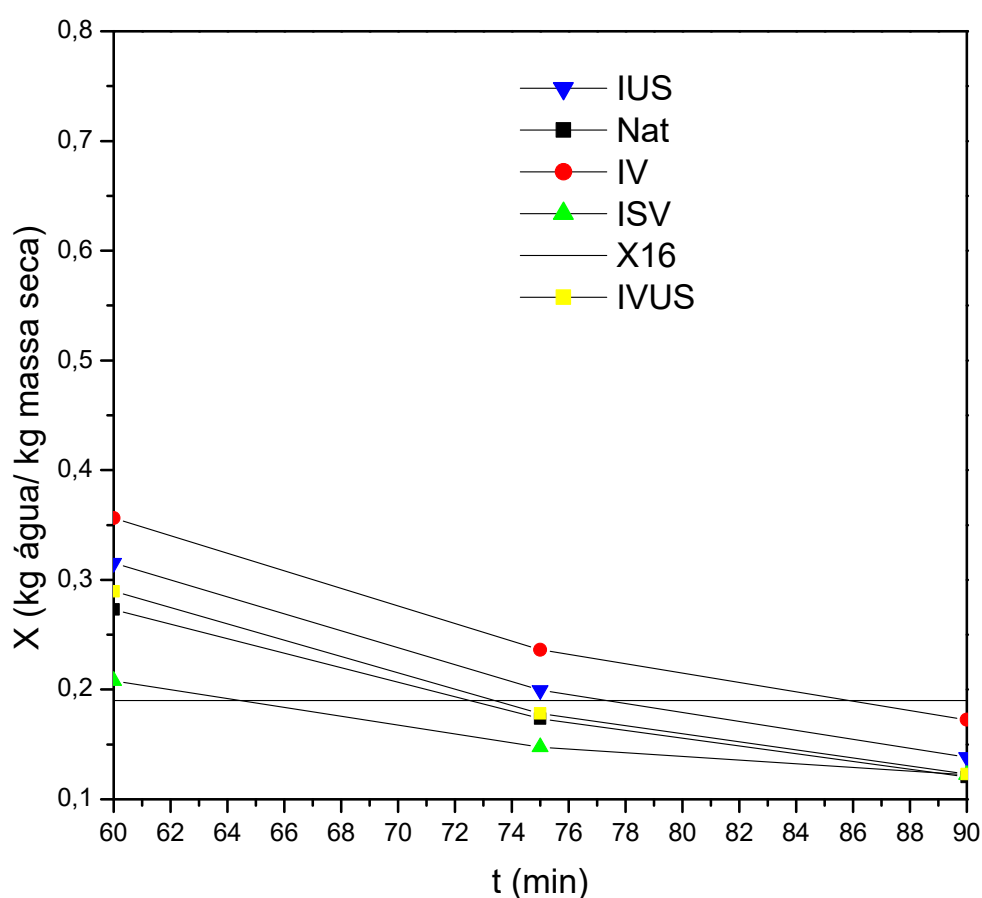


Figura 11: Variação de umidade na secagem de amostras de melão submetidas a diferentes técnicas de impregnação: Nat = In natura; IV = Impregnadas a vácuo; ISV= Impregnadas sem vácuo; IUS = Impregnadas por ultrassom; IVUS = Impregnadas com vácuo e ultrassom; X16 = umidade 16% em base úmida.

Segundo Chiralt. et al. (2001), na impregnação a vácuo de alimentos estruturados, a perda de água e de sólidos naturais do alimento e a incorporação de sólidos são responsáveis por modificações nas propriedades viscoelásticas do

tecido, devido à plasticidade da estrutura da amostra após o tratamento. Com a aplicação desse processo, verifica-se que mudanças físico-químicas importantes e nas propriedades estruturais tomam lugar no alimento e esses efeitos afetam o comportamento nas operações de secagem (secagem com ar e/ou desidratação osmótica). Além disso, há uma maior resistência ao transporte de água pelas membranas celulares em função do aumento do teor de cálcio, decorrente do efeito do cálcio na regulação de um grupo de proteínas, as aquaporinas. Essas proteínas são responsáveis pelo transporte ativo de água que ocorre com consumo de energia (ATP), diminuindo o fluxo de saída de água das células, fazendo com que o tempo de secagem seja maior (MORANGA et al., 2009).

5.3 Quantificação de cálcio nas amostras desidratadas

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da quantificação de cálcio nas amostras de melão desidratadas submetidas aos diferentes métodos de impregnação. Foi encontrado uma concentração de cálcio de 220,2 mg/kg de massa seca nos melões in natura, valor semelhante ao encontrado na TACO (2011) e na TBCA (2016), de 277,4 e 230,8 mg/kg de massa seca, respectivamente. Aguayo, Escalona e Artés (2008) também relataram teor de cálcio semelhante em melão in natura, 270 mg/kg de massa seca.

Tabela 3: Concentração de cálcio em base seca de melão desidratado in natura e impregnado por diferentes métodos

Tratamentos	Concentração de cálcio (mg/kg massa seca)	Aumento da impregnação em relação ao in natura
In natura	220,2 ± 19,3 ^a	-
ISV	526,2 ± 136,7 ^a	2,4
IUS	560,1 ± 160,7 ^a	2,5
IVUS	1844,4 ± 340,2 ^b	8,4
IV	3812,6 ± 404,7 ^c	17,3

As médias que apresentam as mesmas letras dentro da mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5% de significância. IV = Impregnadas a vácuo; ISV= Impregnadas sem vácuo; IUS = Impregnadas por ultrassom; IVUS = Impregnadas com vácuo e ultrassom.

Observa-se que a amostra seca impregnada pelo método de imersão a temperatura ambiente, sem o uso do vácuo, foi capaz de aumentar mais que o dobro da concentração de cálcio em relação à amostra in natura seca. Silveira et al. (2011), estudando a influência da imersão de melão gália em vários sais de cálcio, encontraram dados semelhantes aos apresentados nessa pesquisa. As amostras imersas em cloreto de cálcio aumentaram sua concentração cerca de 2,3 vezes quando comparadas a amostra controle. Aguayo, Escalona e Artés (2008) também encontraram que as amostras de melão imersas em solução a 0,5% de cloreto de cálcio aumentaram as concentrações finais em 1,2 a 1,7 vezes, dependendo da temperatura empregada. Esse menor aumento pode ser justificado pela menor concentração da solução impregnante usada pelos pesquisadores.

As amostras que passaram pelo processo de IV, isolado ou associado com US, aumentaram significativamente as concentrações de cálcio, devido à provável troca do líquido nativo presente no interior dos poros pela solução impregnante contendo 2% de cloreto de cálcio. A incorporação de cálcio foi maior nas amostras de melão submetidas à impregnação a vácuo, apresentando um aumento na concentração de cálcio de, aproximadamente, 17 vezes, quando comparado com as amostras in natura. Essas mesmas amostras foram as que apresentaram maior tempo de secagem para atingir a umidade de 16%, como discutido anteriormente.

Lima et al. (2016) estudaram o efeito da IV de cloreto de cálcio a 1% em abacaxi e observaram que as amostras impregnadas aumentaram em 11 vezes sua concentração de cálcio em relação ao abacaxi in natura. A aplicação de vácuo também resultou numa maior incorporação de lactato de cálcio em maçãs, aumentando cerca de 23 vezes sua concentração se comparadas a amostras in natura (DENG & ZHAO, 2008).

Tiwari et al. (2018) relataram que foi possível aumentar a concentração de cálcio em chips de batatas de 154,65 mg/100g (controle) para 700 mg/100 g (fortificado) sob variáveis de processo pré-definidas do estudo. Os chips fortificados apresentaram 4,5 e 7,1 vezes maior teor de cálcio que o controle e a versão comercial, respectivamente. Outro estudo demonstrou que a IV foi capaz de impregnar de 6,2 a 10,4 vezes mais cálcio no tecido de maçãs (ASSIS, 2013).

Diversos fatores podem estar contribuindo para as variações encontradas na capacidade de incorporação de cálcio no tecido vegetal. Os estudos descritos

na literatura podem divergir quanto à pressão de vácuo aplicada, o uso de pulso de vácuo associado, a temperatura durante a impregnação, o tempo de vácuo, o tempo de restabelecimento da pressão atmosférica, a estrutura porosa do tecido vegetal estudado, o tipo de substância a ser impregnada, bem como a concentração da solução impregnante.

Parreidt, Schmid e Müller (2018), avaliando o efeito da impregnação a vácuo de revestimentos comestíveis a base de cálcio, encontraram que o aumento do tempo de vácuo ou de restauração da pressão atmosférica não aumentou o rendimento do processo de revestimento, sendo o tempo de 10 minutos para cada etapa o mais efetivo para atingir o equilíbrio hidrodinâmico. Segundo esses autores, o tempo de aplicação do vácuo e de restauração atmosférica são mais efetivos do que a pressão de vácuo aplicada para aumentar a quantidade de revestimento no produto alimentício. De acordo com Quintanilla et al. (2018), aumentar o nível de vácuo ou o tempo de processamento não aumenta a incorporação de cálcio.

Lima et al. (2016) não encontraram diferenças significativas na incorporação de cálcio quando as amostras eram submetidas a pulsos de vácuo, ou quando a solução impregnante usada era mais concentrada. Outra variável estudada por Aguayo, Escalona e Artés (2008) foi a influência da temperatura na incorporação de cloreto de cálcio em melões. Os resultados obtidos apontam que a solubilidade de cálcio é maior em temperaturas mais elevadas. Ao avaliar a incorporação de vários sais de cálcio, sem o uso do vácuo, nos parâmetros de qualidade do melão, Silveira et al. (2011) relataram que o cloreto de cálcio foi o sal que foi mais incorporado ao tecido vegetal. Portanto, esses estudos citados apontam que diversas variáveis são capazes de interferir na impregnação, afetando assim a eficácia do processo de incorporação de cálcio em alimentos.

Segundo a legislação brasileira, para que um alimento sólido seja considerado enriquecido, o mesmo deve conter no mínimo 0,3 g de cálcio a cada 100 g do produto pronto para consumo (BRASIL, 2005). Sabendo que a umidade do produto final deste trabalho é de 0,19 kg de água/kg massa seca, para que ele seja considerado enriquecido deve conter no mínimo 3571 mg de cálcio/kg massa seca. Assim, apenas as amostras submetidas ao processo de impregnação a vácuo se mostraram viáveis para o desenvolvimento de melão seco enriquecido com cálcio (3812,6 mg de cálcio/ kg massa seca). Atribuem-se esses resultados

aos efeitos causados pelo mecanismo hidrodinâmico, descrito por Fito e Pastor (1994), responsável pela troca do gás e do líquido aprisionados dentro dos poros do melão pela solução impregnante de cloreto de cálcio, causada pelos gradientes de pressão promovidos pela aplicação de vácuo, seguido do restabelecimento da pressão atmosférica.

A combinação de vácuo com ultrassom incorporou cerca de 8 vezes mais cálcio se comparado às amostras in natura. Entretanto, não atingiu o teor mínimo para ser considerada uma fruta enriquecida com cálcio segundo a legislação, obtendo-se um resultado inferior ao encontrado com o uso do vácuo isoladamente. A hipótese inicial que os canais microscópios gerados pelo ultrassom e o posterior gradiente de pressão provocado pela aplicação de vácuo facilitariam a saída de água e o influxo da solução impregnante não foi comprovada, isto é, a combinação das duas técnicas, nestas condições, não favoreceu uma maior incorporação de íons de cálcio no tecido do melão.

Este fato pode ter acontecido possivelmente devido ao colapso da estrutura da fruta causada pela formação dos microcanais após a aplicação de vácuo (YAO, 2016). De acordo com Kaderides, Goula, Adamopoulos (2015), tempos contínuos de aplicação de vácuo dificultam a impregnação de sólidos na amostra, pois causa deformidade da estrutura, o que reduz a porosidade e diminui o volume livre para impregnação.

Avaliando o efeito simultâneo do US no processo de impregnação a vácuo na infusão de lactato de cálcio e compostos fenólicos em maçã, Yilmaz e Bilek (2018) encontraram um aumento do teor de cálcio (13,8%) e de fenólicos totais (11,8%) em relação às amostras impregnadas a vácuo sem o uso do US. Além disso, a aplicação simultânea dos dois tratamentos não rompeu a integridade celular. Tal resultado, diferente do encontrado na presente pesquisa, mostrou que mais substâncias podem ser incorporadas no tecido do vegetal pela aplicação simultânea do US com vácuo, sem aumentar a pressão ou o tempo de vácuo e, portanto, sem perturbar a integridade celular (YILMAZ; BILEK, 2018).

Quando aplicado apenas o ultrassom, observa-se que não houve aumento significativo na incorporação de cálcio em melão, resultando em amostras com teor de cálcio semelhante às amostras submetidas apenas a imersão. Resultado semelhante foi relatado por Deng e Zhao (2008) ao estudarem a impregnação de íons de cálcio em maçã através de pré-tratamentos com pulsos de vácuo, agitação

e ultrassom. O pré-tratamento com pulso de vácuo resultou na maior intensidade média de sinal de íons de cálcio, seguido do pré-tratamento com agitação, enquanto a menor penetração de cálcio foi encontrada nas amostras submetidas ao ultrassom. Cordeiro (2012) relatou maior incorporação de sais durante desidratação osmótica de amostras de peixe submetidas ao vácuo quando comparadas as amostras em ultrassom.

A aplicação de ultrassom também resultou em um aumento de quase o dobro da concentração de ferro de grãos de feijão enriquecidos durante o processo de hidratação (MIANO; AUGUSTO, 2018). Resultado similar foi encontrado pelos mesmos autores, ao avaliarem a incorporação de pigmentos em melão, mostrando que o ultrassom quase duplica a retenção do pigmento (MIANO; IBARZ; AUGUSTO, 2016).

Sabe-se que os mecanismos de ultrassom (efeito indireto relacionado à formação de microcanais por cavitação acústica e os efeitos diretos relacionados ao fluxo inercial e ao "efeito esponja") aumentam a transferência de massa nos alimentos (CÁRCEL et al., 2012). A cavitação acústica parece ocorrer aleatoriamente dentro da matriz alimentar, levando a formação de micro cavidades, que crescem em tamanho com o passar do tempo, gerando cavidades com diferentes tortuosidades e permeabilidade. Muitas dessas cavidades podem não ter conexão entre si ou com o meio externo, não melhorando ou apenas melhorando ligeiramente a transferência de massa. Portanto, os fenômenos de transferência de massa são melhorados quando um número razoável de cavidades é formado e/ou quando há conexões entre essas e o meio externo, formando canais (MIANO; IBARZ; AUGUSTO, 2016). Tal fato sugere que um maior tempo de ultrassom formaria mais conexões e aumentaria a transferência de massa, ou seja, é possível que ao aplicar maior tempo de US na presente pesquisa, houvesse maior formação dos microcanais capazes de promover um maior fluxo dos íons de cálcio para o interior da estrutura do melão.

5.4 Caracterização físico-química

Os resultados encontrados para umidade, atividade de água e sólidos solúveis estão descritos na Tabela 4. O melão in natura estudado apresentou umidade média de 92,06%, valor semelhante ao relatado na TACO (2011), que é de 91,3% e pela TBCA (2016), que é de 93%. Observa-se que não houve diferença significativa entre as umidades das amostras após as técnicas de impregnação. Em relação às amostras secas, foi definida a partir do estudo da cinética de secagem uma umidade final de 16% (0,19 g de água/g massa seca), valor abaixo do determinado pela legislação brasileira para frutas secas, de no máximo, 25 % de umidade (BRASIL, 2005).

Tabela 4: Caracterização físico-química do melão in natura e impregnado antes e após a secagem:

Amostra	Umidade (%)	Atividade de água (A_w)	Sólidos solúveis* (°Brix)
In natura	92,06 ± 0,05 ^c	0,98 ± 0,02 ^d	10,0 ± 0,50
Antes da secagem			
ISV	89,72 ± 0,06 ^a	0,99 ± 0,01 ^d	-
IUS	90,71 ± 0,05 ^{ab}	0,99 ± 0,01 ^d	-
IVUS	91,40 ± 0,70 ^{bc}	0,99 ± 0,01 ^d	-
IV	89,53 ± 0,06 ^a	0,98 ± 0,02 ^d	-
Após a secagem			
Sem tratamento	16	0,52 ± 0,00 ^{abc}	-
ISV	16	0,49 ± 0,01 ^a	-
IUS	16	0,50 ± 0,01 ^{ab}	-
IVUS	16	0,53 ± 0,01 ^{bc}	-
IV	16	0,55 ± 0,01 ^c	-

As médias que apresentam as mesmas letras dentro da mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5% de significância. IV = Impregnadas a vácuo; ISV= Impregnadas sem vácuo; IUS = Impregnadas por ultrassom; IVUS = Impregnadas com vácuo e ultrassom. *Apenas as amostras in natura foram avaliadas como forma de padronização do grau de maturação.

A atividade de água (A_w) das amostras frescas de melão variou de 0,98 a 0,99, submetidas ou não as impregnações. Valores semelhantes foram encontrados por Chambi, Lima e Schmidt (2016), que encontraram uma variação de A_w de 0,98 a 0,99 em melão amarelo in natura. Tappi et al. (2016) observaram valores de atividade de água que variavam entre 0,97 e 0,99 para o vegetal fresco. No presente estudo, a aplicação de vácuo e de ultrassom não influenciou na redução da umidade e da atividade de água dos melões frescos submetidos aos processos de impregnação.

A A_w difere da umidade presente nos alimentos e está estritamente relacionada à velocidade com que as reações de deterioração dos alimentos ocorrem. Sua aplicação na indústria de alimento é bem estabelecida, podendo ser usada para garantir características como textura dos produtos, além de prever a estabilidade de um alimento em sua vida de prateleira, visto que ela é relacionada à velocidade de reações microbiológicas, químicas e físicas do alimento. Ela pode variar de 0 a 1, sendo que cada reação química e cada microrganismo são favorecidos em uma determinada faixa de A_w ótima (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2007).

Após a impregnação, não houve diferença significativa entre as A_w das amostras frescas. Entretanto, após a secagem convectiva a 60 °C, houve uma redução estatisticamente significativa dos valores de A_w , variando de 0,49 a 0,55, comprovando a eficácia da secagem na redução do teor de água livre das amostras de melão. Sabe-se que a atividade microbiana é inibida com valores de A_w abaixo de 0,60, fungos são inibidos com $A_w < 0,70$, sendo as leveduras com $A_w < 0,80$ e a maioria das bactérias com $A_w < 0,90$ (FELLOWS, 2009). Dessa forma, o produto seco obtido apresenta maior estabilidade bioquímica e microbiológica, pois o crescimento e o desenvolvimento microbiano na faixa encontrada são considerados mínimos.

Os teores de sólidos solúveis referem-se à porcentagem em peso de sacarose em solução a 20°C (IAL, 2008). O resultado obtido em relação aos valores de sólidos solúveis foi de 10 °Brix no melão in natura. Este valor é condizente com a literatura, que mostra valores que variam de 9,1 a 12,3° Brix para amostras de melão in natura (AGUAYO; ESCALONA; ARTÉS, 2008; OLIVEIRA et al., 2014; SILVEIRA et al., 2011; TAPPI et al., 2016). A maioria dos países utiliza os valores do conteúdo

de sólidos solúveis como o principal critério para a aceitação. De acordo com Filgueiras et al. (2000), os requisitos mínimos de qualidade estabeleceram que o teor de sólidos solúveis deve ser de pelo menos 9° Brix, pois quanto mais doce o melão melhor será o seu valor de mercado.

5.5 Cor

A cor é um atributo sensorial importante, sendo um parâmetro capaz de influenciar a aceitação dos alimentos. É o primeiro atributo de qualidade avaliado pelos consumidores, seguidos do aroma e sabor, além de apresentar estreita associação com indicadores de qualidade, como frescor, maturidade, variedade e segurança alimentar (WU e SUN, 2013).

O sistema CIELAB, composto pelas coordenadas L^* (luminosidade), a^* (variação da cor verde (-) a vermelha (+)) e b^* (variação da cor azul (-) a amarela (+)) é o mais utilizado na análise de alimentos, devido a distância encontrada entre duas cores diferentes corresponder aproximadamente à diferença de cor percebida pelo olho humano (MENESATTI et al., 2012).

Os resultados de cor das amostras de melão frescas e secas submetidas aos diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 5. Para a amostra in natura, o resultado obtido para luminosidade é semelhante às variações encontradas por Barreto (2011) para melão amarelo em diferentes estágios de maturação, que foi de 65,31 a 68,17.

Os valores de luminosidade (L^*) variam de 0 a 100, sendo escura próxima de 0 e branca próxima de 100. A luminosidade variou após a etapa de impregnação, sendo reduzida em três amostras (IUS, IVUS e IV), indicando um escurecimento das mesmas. Apenas a amostra impregnada por imersão (ISV) aumentou a luminosidade em relação a in natura. Resultado semelhante foi descrito por Oliveira et al. (2014) ao estudarem a impregnação de probióticos em melão amarelo, onde os maiores valores de L^* foram obtidos nas amostras impregnadas por imersão em relação as impregnadas a vácuo. Parreidt, Schmid e Müller (2018) encontraram redução significativa dos valores de L^* em amostras de melão Cantaloupe após impregnação a vácuo de revestimento a base de cálcio. Tappi et al. (2016) e Moreno et al. (2012) também relataram maior escurecimento após a IV em melão cantaloupe e morango, respectivamente.

Desta forma, destaca-se que a IV resulta numa redução inicial da luminosidade do melão, uma vez que o elevado nível de vácuo aumenta a porosidade do tecido vegetal, como resultado de uma maior expansão e liberação do gás do interior dos poros dos vegetais. Logo, alto nível de vácuo permite melhor remoção do oxigênio e do líquido nativo a partir da estrutura do tecido. Depois da restauração da pressão atmosférica, um volume maior de líquido penetra nos poros do vegetal por meio dos fenômenos de impregnação (DEROSSÍ; PILLI; SEVERINI, 2012).

Tabela 5: Valores médios para cor das amostras de melão in natura e impregnadas antes e após a secagem.

Amostra	L*	a*	b*	ΔE
In natura	67,87 \pm 1,38 ^e	2,51 \pm 0,92 ^d	15,37 \pm 1,66 ^c	-
Antes da secagem				
ISV	71,44 \pm 2,44 ^f	-0,03 \pm 0,3 ^{bc}	13,44 \pm 0,95 ^b	4,79
IUS	59,01 \pm 2,62 ^{cd}	-0,98 \pm 0,12 ^a	10,72 \pm 0,48 ^a	10,60
IVUS	49,22 \pm 0,58 ^a	-0,05 \pm 0,09 ^{bc}	13,04 \pm 0,18 ^b	18,97
IV	47,31 \pm 1,01 ^a	-0,25 \pm 0,12 ^{abc}	9,39 \pm 0,42 ^a	21,59
Após a secagem				
In natura	56,84 \pm 0,13 ^c	0,32 \pm 0,34 ^c	17,49 \pm 1,96 ^d	7,23
ISV	61,64 \pm 3,17 ^d	-0,74 \pm 0,10 ^{ab}	17,40 \pm 0,40 ^d	7,32
IUS	58,66 \pm 0,63 ^{cd}	2,79 \pm 0,68 ^d	23,32 \pm 0,79 ^e	12,17
IVUS	49,35 \pm 1,17 ^a	3,22 \pm 0,10 ^d	26,47 \pm 0,08 ^f	21,60
IV	53,05 \pm 0,22 ^b	2,60 \pm 0,38 ^d	26,33 \pm 0,68 ^f	18,43

As médias que apresentam as mesmas letras dentro da mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5% de significância. L* = luminosidade, a* = cor vermelha, b* = cor amarela, ΔE = diferença total de cor.

Após a secagem, as amostras in natura e impregnadas sem vácuo apresentaram maior tendência ao escurecimento (L* menor), enquanto que a amostra submetida a IV ficou mais clara quando comparadas as amostras antes da secagem. O uso do ultrassom parece não ter influenciado na luminosidade das amostras (IUS e IVUS) após a secagem.

O fato de algumas amostras impregnadas antes da secagem apresentarem maior valor de L^* se justifica pela integridade dos pigmentos do alimento, os quais ainda não foram degradados pelas altas temperaturas, bem como pela grande quantidade de água presente nas amostras in natura, o que proporciona turgidez às células, refletem mais a luz, solubiliza e dispersa os pigmentos que proporcionam cor, deixando-as mais claras. O valor de luminosidade reduzida das amostras secas pode estar relacionado a muitos fatores de escurecimento, principalmente relacionadas ao processamento térmico, entre eles, a oxidação enzimática, a reação de Maillard, oxidação do ácido ascórbico e a degradação de carotenóides (PERERA, 2005).

Contudo, o uso da impregnação a vácuo contribuiu para um menor escurecimento das amostras após a secagem. O pré-tratamento com vácuo aparentemente ajudou a evitar a ação enzimática pela falta de oxigênio necessário para que ocorram as reações de escurecimento enzimático. Portanto, a escassez de oxigênio evitou o escurecimento enzimático e conseqüentemente o escurecimento das amostras (ESKIN; HO; SHAHIDI, 2013). Resultado semelhante foi relatado por Silva et al. (2016), em que as amostras de melão cantaloupe pré-tratadas com ultrassom e vácuo e posteriormente desidratadas apresentaram maiores valores de luminosidade, bem como de a^* e b^* .

Quanto a coordenada de cor verde-vermelha, observa-se que todas as amostras frescas submetidas as quatro técnicas de impregnação reduziram de forma significativa o parâmetro a^* em relação as amostras in natura. Pode-se atribuir a esse resultado ao fato de todas as amostras serem imersas em solução impregnante com água, o que resultou em perda dos compostos responsáveis pela coloração durante a impregnação.

Comparando apenas as amostras desidratadas, as amostras in natura e ISV apresentaram valores menores de a^* , enquanto as que utilizaram vácuo e/ou ultrassom aumentaram significativamente a tendência a cor vermelha. Este resultado indica que essas técnicas foram capazes de preservar os compostos responsáveis pela cor durante a secagem, corroborando com os resultados encontrados por Parreidt, Schmid e Müller (2018) e Silva et al. (2016). O fenômeno de mudança de cor causado pela IV deve-se a mudança nas propriedades ópticas da matriz alimentar devido à remoção do ar dos poros e a troca gás-líquido (FITO et al., 2001).

A coordenada b^* nas amostras frescas praticamente não variou entre as técnicas, apresentando pequenas oscilações estatisticamente significativas, provavelmente devido às variações naturais da coloração entre as próprias amostras e não ao processo de impregnação em si. Contudo, todas as amostras aumentaram significativamente o valor de b^* após a secagem, indicando que houve um realce da cor amarela das amostras desidratadas em relação às frescas. Deng e Zhao (2008) também relataram a influência da secagem na cor das amostras de maçã impregnadas com cálcio por US e vácuo, apresentando-se significativamente mais amarelas (maior valor de b^*) quando comparadas as amostras frescas.

O ΔE mede a diferença total de cor entre o melão processado e o controle (fresco) e é comumente usado como um indicador de qualidade. Segundo Atarés, Gallagher e Oliveira (2011), as amostras de mais alta qualidade são aquelas cuja cor é a mais próxima da cor original da amostra fresca. De acordo com Adekunt et al. (2010), as diferenças na cor podem ser analiticamente classificadas como muito distinta ($\Delta E > 3,0$), distinta ($1,5 < \Delta E < 3,0$) e pouco distinta ($\Delta E < 1,5$).

Neste estudo, todas as amostras resultaram em diferença de cor (Figura 12). Após a impregnação, a condição que obteve maior diferença de cor foi a que usou o vácuo, semelhante ao relatado por Moreno et al. (2012) para morangos.

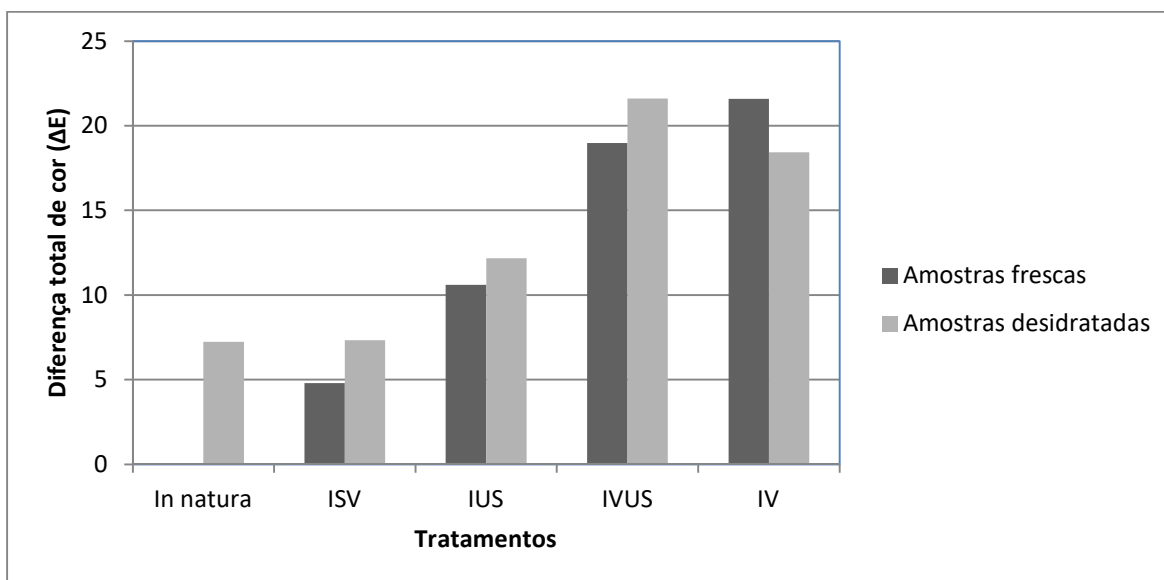


Figura 12: Diferença total de cor das amostras de melão frescas e desidratadas submetidas a diferentes tratamentos em relação à amostra de melão in natura fresco: IV = Impregnadas a vácuo; ISV= Impregnadas sem vácuo; IUS = Impregnadas por ultrassom; IVUS = Impregnadas com vácuo e ultrassom.

Após a secagem, todas as amostras avaliadas foram muito distintas em relação à amostra fresca, sendo as que foram submetidas ao vácuo (IV e IVUS) as que apresentaram maiores valores de ΔE . A aplicação do vácuo leva a uma modificação na cor devido à perda de ar, efeito produzido pela substituição total ou parcial do ar presente nos poros pela solução de impregnação (MORENO et al., 2012).

5.6 Textura

A dureza é um atributo sensorial usado para descrever a resistência à quebra de um alimento sólido quando ele é ingerido. Depende de fatores como o grau de maturação, teor de fibra, turgidez, processamento e pode ser avaliada por testes instrumentais ou sensoriais, como compressão e penetração (QUINTANILLA et al., 2018).

A dureza das amostras frescas e secas foi avaliada calculando a força máxima de penetração e expressas em Newton (Tabela 6). O melão fresco apresentou valor de dureza de aproximadamente 25 N, estando de acordo com a faixa encontrada por Barreto (2011), de 24,35 N a 33,67 N para melão do tipo amarelo.

Observa-se que todas as amostras frescas impregnadas com cálcio, independente da técnica aplicada, apresentaram maiores valores de dureza em relação à amostra in natura fresca, porém a diferença não foi significativa estatisticamente ($p > 0,05$). De acordo com Tappi et al. (2016) e Aguayo, Escalona e Artés (2008), quanto maior o teor de cálcio ligado no tecido do melão, maior a dureza da amostra. Contudo, a dureza pode ser influenciada por diversos fatores, entre eles o tipo de sal de cálcio aplicado, a temperatura e a concentração da solução impregnante (SILVEIRA et al., 2011).

Segundo Luna-Guzmann e Barrett (2000), o efeito do cálcio na firmeza do tecido é geralmente explicado pela sua interação com os grupos carboxilas livres dos polímeros de ácido péctico para formar sais insolúveis com ligações iônicas entre as moléculas da pectina, resultando na formação do pectato de cálcio. Isso contribui para uma maior integridade da membrana e a consequente manutenção ou aumento da pressão de turgor celular.

Tabela 6: Dureza das amostras de melão in natura e impregnadas antes e após a secagem.

Amostra	Dureza (N)
In natura	25,02 ± 6,80 ^a
Antes da secagem	
ISV	29,56 ± 8,43 ^a
IUS	28,50 ± 7,41 ^a
IVUS	34,05 ± 7,28 ^{ab}
IV	30,86 ± 9,21 ^a
Após a secagem	
In natura	70,56 ± 3,83 ^{cd}
ISV	60,55 ± 24,14 ^{bc}
IUS	76,20 ± 12,53 ^{cd}
IVUS	93,72 ± 11,05 ^d
IV	122,62 ± 11,68 ^e

As médias que apresentam as mesmas letras dentro da mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade. IV = Impregnadas a vácuo; ISV= Impregnadas sem vácuo; IUS = Impregnadas por ultrassom; IVUS = Impregnadas com vácuo e ultrassom.

Como esperado, todas as amostras desidratadas apresentaram um aumento significativo da dureza quando comparadas as amostras frescas. Isto porque a transferência simultânea de calor e água durante a secagem leva a tensão e encolhimento, o que eleva a textura dos produtos desidratados (PORCIUNCULA; SEGURA; LAURINDO, 2016). Além disso, a incorporação de cálcio na estrutura do melão também pode ter influenciado no resultado.

Esta tensão formada no produto seco é devido à desmetilação da pectina da parede celular pela enzima pectina metil-esterase, que é ativada em temperaturas acima de 50°C e a subsequente formação de uma ligação entre os grupos carboxílico livres e íons cálcio (ORIKASA et al., 2014). Estudando a influência de pré-tratamento com ultrassom, pulso de vácuo e agitação na incorporação de cálcio em maçãs, Deng e Zhao (2008) afirmaram que a secagem com ar quente influenciou significativamente na dureza das amostras, tornando-as mais firmes.

Observa-se que não houve uma relação direta entre a dureza e a técnica de impregnação, não havendo diferença estatisticamente significativa entre as amostras secas, exceto para as amostras que foram impregnadas a vácuo. Ou seja, as

amostras submetidas a IV foram as que mais incorporaram cálcio e as que apresentaram maior dureza após a secagem ($p>0,05$).

Corroborando com esse resultado, Deng e Zhao (2008) não demonstraram diferença significativa na dureza entre as amostras secas pré-tratadas com US, agitação e vácuo. Entretanto, o pré-tratamento com pulso de vácuo foi o que provocou maior encolhimento em maçãs desidratadas impregnadas com cálcio.

Diversos estudos avaliaram a influência da IV de sais de cálcio na textura de vegetais. Quintanilla et al. (2018) revelaram que a IV em amostras de framboesas imersas em solução impregnante a base cálcio aumentou significativamente a dureza, em relação à IV controle com água destilada. No entanto, o maior nível e tempo de vácuo aplicado danificaram a estrutura da fruta, levando a perda de firmeza.

Tappi et al. (2016) também encontraram maior dureza em amostras de melão submetidas a IV com cálcio, sendo menos pronunciada quando o nível de vácuo aplicado foi maior, provavelmente porque o aumento do vácuo levou a alguma deformação irreversível da matriz sólida. Além disso, uma alta concentração de cálcio na solução foi capaz de aumentar a dureza do tecido.

Outro estudo, elaborado por Parreidt et al. (2018), avaliou o efeito da IV na aplicação de revestimento comestível a base de cálcio em melão cantaloupe. Os resultados mostraram que a dureza das amostras de melão aumentou significativamente com a aplicação do revestimento. Os autores atribuem esse resultado devido à remoção de oxigênio através dos poros do melão e ao preenchimento desses poros com as soluções a base de cálcio.

Sabe-se que a aplicação do vácuo pode provocar danos na estrutura das células dos vegetais pela expansão do gás contido no interior do tecido vegetal. Esse fenômeno pode induzir a efeitos irreversíveis devido à força mecânica, levando a perda de rigidez da estrutura provocada pelo “debonding” (desligamento) ou ruptura nas junções da parede celular (CHIRALT et al., 2001). Contudo, a aplicação de sais de cálcio é vista como uma alternativa no melhoramento da firmeza e resistência dos vegetais durante esse processo, pois o cálcio estabiliza as membranas celulares formando pectato de cálcio, tornando a lamela média e a parede celular mais rígidas e mais resistentes ao ataque de enzimas, como a poligalacturonase, e a uma maior pressão de turgescência (LUNA-GUZMAN; BARRETT, 2000).

6 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados sugerem que a impregnação a vácuo foi a técnica que mais incorporou cálcio na estrutura do melão, sendo a única capaz de produzir melão seco considerado fortificado. Além disso, os melões impregnados a vácuo com cálcio foram os que apresentaram maior ganho de massa, maior tempo de secagem, aumento da luminosidade e maior dureza após secagem.

Neste estudo, a associação do ultrassom com vácuo não favoreceu o aumento do teor de cálcio no melão. Fatores como nível e tempo de vácuo, tempo de ultrassom, temperatura da solução impregnante, tipo e concentração do sal de cálcio, bem como a estrutura porosa da fruta, podem ter influenciado nas concentrações de cálcio obtidas nos quatro tratamentos estudados.

REFERÊNCIAS

- ADEKUNT, A.O. et al. Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. **Food Chemistry**, v. 122, p. 500-507, 2010.
- AGUAYO, E.; ESCALONA, V.H; ARTÉS, F. Effect of hot water treatment and various calcium salts on quality of fresh-cut 'Amarillo' melon. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 397-406, 2008.
- AGUILERA, J. M.; CHIRALT, A.; FITO, P. Food dehydration and product structure. **Trends in Food Science and Technology**, v. 14, n. 10, p. 432-437, 2003.
- AOAC. ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of the Association of Official Anaytical Chemists. 17th ed. Washington, 2002.
- ASSIS, F. R. **Desidratação e caracterização físico-química de maçãs impregnadas com lactato de cálcio [Dissertação]**. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
- AZOUBEL, P. M. et al. Improvement of water transport and carotenoid retention during drying of papaya by applying ultrasonic osmotic pretreatment. **Food Engineering Reviews**, v. 7, p. 185-192, 2015.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. et al. Water activity in foods: fundamentals and applications. **Ames: Blackwell Publishing Profesional**, p.438, 2007.
- BARRETO, N.D.S. **Qualidade, compostos bioativos e capacidade antioxidante de frutos de híbridos comerciais de meloeiro cultivados no CE e RN**. 2011. 189f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal Rural do Semiárido, 2011.
- BAŞLAR, M.; KILIÇLI, M.; YALINKILIÇ, Y. Dehydration kinetics of salmon and trout fillets using ultrasonic vacuum drying as a novel technique. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 27, p. 495-502, 2015.
- BELLARY, A.N.; RASTOGI, N.K. Ways and Means for the Infusion of Bioactive Constituents in Solid Foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2015.
- BETORET, E. et al. Functional foods development: Trends and technologies. **Trends in Food Science and Technology**, v. 22, n. 9, p. 498-508, 2011.
- BISOGNIN, D. A. Origin and evolution of cultivated cucurbits. **Ciência Rural**, v. 32, n. 5, p. 715-723, 2002.
- BRASIL. Agência Nacional da Vigilância Sanitária – ANVISA. Portaria SVS/MS nº 31, de 13 de janeiro de 1998. **Regulamento Técnico referente à Alimentos Adicionados de Nutrientes Essenciais**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 de janeiro de 1998.

BRASIL. Agência Nacional da Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005. **Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis, revogando a resolução - CNNPA nº 12, de 24 de julho de 1978**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 de setembro de 2005.

BROD, F.P.R.; ALONSO, L.F.T.; PARK, K.J. Secagem de produtos agrícolas. XI SEMEAGRI – Semana de Engenharia Agrícola da Unicamp. Agrológica - Empresa Jr. de Engª Agrícola, Campinas, 122 p, 1999.

CÁRCEL, J.A. et al. Food process innovation through new technologies: use of ultrasound. **Journal of Food Engineering**, v.110, n.2, p.200-207, 2012.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Planaltina, DF, Embrapa Cerrados, 2010.

CORDEIRO, R.P. **Estudo das operações combinadas: impregnação a vácuo e por ultrassom em filés de mapará (*Hypophthalmus marginatus*) [Dissertação]**. Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém, 2012.

CHAPLIN, C. **Chaplin - Vida e Pensamentos**. Editora Martin Claret, p. 118, 1997.

CHAMBI, H. N. M.; LIMA, W. C. V.; SCHMIDT, F. L. Osmotic dehydration of yellow melon using red grape juice concentrate. **Food Science Technology**, v. 36, n. 3, p. 468-475, 2016.

CHIRALT, A. et al. Use of vacuum impregnation in food salting process. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 141-151, 2001.

COSTA, N. D et al. **A cultura do melão / Embrapa Semi-Árido**. 3. ed. rev. ampl. Brasília - DF: Embrapa Informação Tecnológica (Coleção Plantar), 2017.

CYBULSKA, J.; ZDUNEK, A.; KONSTANKIEWICZ, K. Calcium effect on mechanical properties of model cell walls and apple tissue. **Journal of Food Engineering**, v. 102, n. 3, p. 217–223, 2011.

DENG, Y.; ZHAO, Y. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). **LWT – Food Science and Technology**, v. 41, p. 1575-1585, 2008.

DEROSSI, A.; DE PILLI, T.; SEVERINI, C. Application of pulsed vacuum acidification for the pH reduction of mushrooms. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 585–591, 2013.

ESKIN, N. M.; HO, C. T.; SHAHIDI, F. “Chapter 6 - Browning reactions in foods.” In **Biochemistry of Foods** (Third Edition), edited by ESKIN, M.; SHAHIDI, F. San Diego: Academic Press, p. 245-289, 2013.

FAO. Agricultural production, primary crops (2015). Disponível em:

<<http://www.fao.org>> . Acesso em: 15 jul. 2018.

FILGUEIRAS, H.A.C. et al. Colheita e manuseio pós-colheita. In: ALVES, R.E. (Org). **Melão pós-colheita**. Brasília: EMBRAPA-SPI, p. 23-41. (Frutas do Brasil, 10), 2000.

FITO, P. et al. Coupling of Hydrodynamic Mechanism and Deformation-Relaxation Phenomena during Vacuum Treatments in Solid Porous Food-Liquid Systems. **Journal of Food Engineering**, v. 27, n. 3, p. 229–240, 1996.

FITO, P. et al. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 4, p. 297–302, 2001.

FITO, P.; PASTOR, R. Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 21, n. 4, p. 513–519, 1994.

FELLOWS P. J. **Food Processing Technology**. 3rd ed. Fla. USA: Woodhead Publishing Limited and CRC Press, Boca Raton, 2009. 913p.

FUENTE-BLANCO, S. et al. Food drying process by power ultrasound. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 44, p. 523–527, 2006.

FRANÇA, N.A.G.; MARTINI, L.A. Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes – Cálcio. **International Life Sciences Institute do Brasil**, n. 1, 2 ed, 2014.

GARCIA, A. C. et al. Calcium and the regulation of adiposity and body weight. **Journal of Brazilian Society for Food and Nutrition**, v. 39, n. 1, p. 144-153, 2014.

HEANEY R. Calcium intake and disease prevention. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, n. 50, p. 685- 693, 2006.

HEANEY, R. P. Dairy intake, dietary adequacy, and lactose intolerance. **Advances in Nutrition**, n. 4, v. 2, p. 151–156, 2013.

IAL – INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Instituto Adolfo Lutz, 4ª edição, São Paulo – SP, 2008.

INSTITUTE OF MEDICINE. Food And Nutrition Board. Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D. Washington DC: National Academy Press, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE): **Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: análise do consumo alimentar pessoal no Brasil**. Rio de Janeiro, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE): **Produção agrícola municipal (2015)**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

JANVE, M., SINGHAL, R.S., Fortification of puffed rice extrudates and Rice noodles with different calcium salts: Physicochemical properties and calcium bioaccessibility, **LWT - Food Science and Technology** (2018), doi: 10.1016/j.lwt.2018.06.030.

KADERIDES, K.; GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. A process for turning pomegranate peels into a valuable food ingredient using ultrasound-assisted extraction and encapsulation. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, n. 31, p. 204–215, 2015.

KONAR, N.; POYRAZOGLU, E.S.; ARTIK, N. Influence of calcium fortification on physical and rheological properties of sucrosefree prebiotic milk chocolates containing inulin and maltitol. **Journal of Food Science Technology**, n. 52, v. 4, p. 2033–2042, 2015.

LIMA, M. M. et al. Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks. **LWT - Food Science and Technology**, v. 72, p. 501–509, 2016.

LUNA-GUZMÁN, I.; BARRETT, D. M. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 19, n. 1, p. 61–72, 2000.

MEDEIROS, R. A. B. et al. Influence of dual-stage sugar substitution pretreatment on drying kinetics and quality parameters of mango. **LWT-Food Science and Technology**, v. 67, p. 167-173, 2016.

MENESATTI, P. et al. RGB color calibration for quantitative image analysis: the “3D thin-plate spline” warping approach. **Sensors**, v. 12, p. 7063 - 7079, 2012.

MIANO, A.C.; AUGUSTO, P.E.D. The ultrasound assisted hydration as an opportunity to incorporate nutrients into grains. **Food Research International**, v. 106, p. 928-935, 2018.

MIANO, A.C.; IBARZ, A.; AUGUSTO, P.E.D. Mechanisms for improving mass transfer in food with ultrasound technology: Describing the phenomena in two model. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 29, p. 413-419, 2016.

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

MORENO, J. et al. Effect of ohmic heating and vacuum impregnation on the quality and microbial stability of osmotically dehydrated strawberries (*cv. Camarosa*). **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 2, p. 310–316, 2012.

MUSIELAK, G.; MIERZWA, D.; KROEHNKE, J. Food drying enhancement by ultrasound- a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 56, p. 126-141, 2016.

OLIVEIRA, P. M. et al. Melão minimamente processado enriquecido com bactéria probiótica. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2415-2426, 2014.

ORIKASA, T. et al. Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. **Journal of Food Engineering**, v. 125, p. 51–58, 2014.

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

PARREIDT, T.S.; SCHMID, M.; MÜLLER, K. Effect of Dipping and Vacuum Impregnation Coating Techniques with Alginate Based Coating on Physical Quality Parameters of Cantaloupe Melon. **Journal of Food Science**, v. 83, n. 4, p. 929-936, 2018.

PEREIRA, G. A. P. et al. Cálcio dietético: estratégias para otimizar o consumo. **Revista Brasileira de Reumatologia**, v. 49, n. 2, p. 164–171, 2009.

PERERA, C.O. Selected quality attributes of dried foods. **Drying Technol.**, v. 23, n. 4, p. 717–730, 2005.

PIYASENA, P.; MOHAREB, E.; MCKELLAR, R. C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. **International journal of food microbiology**, v. 87, n. 3, p. 207-216, 2003.

PINHEIRO, M. M. et al. O impacto da osteoporose no Brasil: dados regionais das fraturas em homens e mulheres adultos - The Brazilian Osteoporosis Study (BRAZOS). **Revista Brasileira de Reumatologia**, v. 50, n. 2, p. 113–120, 2010.

PORCIUNCULA, B. D. A.; SEGURA, L. A.; LAURINDO, J. B. Processes for controlling the structure and texture of dehydrated banana. **Drying Technology**, v. 34, p. 167-176, 2016.

QUINTANILLA, A., et al. Vacuum Impregnation of Firming Agents in Red Raspberries. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, n. 98, v. 10, p. 3706-3714, 2018.

RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, E.; BIEGANSKA-MARECIK, R.; KIDON, M. Applicability of vacuum impregnation to modify physico-chemical, sensory and nutritive characteristics of plant origin products: A review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n. 9, p. 16577–16610, 2014.

RASTOGI, N.K. Opportunities and Challenges in Application of Ultrasound in Food Processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, n. 8, p. 705-722, 2011.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Cultivo de melão: manejo, colheita, pós-colheita e comercialização**. Brasília - DF, SENAR, 2007.

SILVA, G. D. et al. Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum. **LWT-Food Science and Technology**, v. 74, p. 114-119, 2016.

SILVA, J.H.F. **Secagem convectiva de melão com e sem pré-tratamento ultrassônico: análise experimental e simulação numérica via CFD [Dissertação]**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2018.

SILVEIRA, A. C. et al. Calcium salts and heat treatment for quality retention of fresh-cut “Galia” melon. **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, n. 1, p. 77–84, 2011.

SORIA, A. C.; VILLAMIEL, M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 323-331, 2010.

TACO. Tabela brasileira de composição de alimentos. **NEPA - Unicamp**, p. 161, 2011.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 6.0. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tbca/> Acesso em: 18.05. 2017.

TAPPI, S. et al. Optimization of Vacuum Impregnation with Calcium Lactate of Minimally Processed Melon and Shelf-Life Study in Real Storage Conditions. **Journal of Food Science**, v.0, n0, p. 1-9, 2016.

TIWARI, P.; THAKUR, M. Vacuum impregnation: a novel nonthermal technique to improve food quality. **International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology**, n. 3, v. 7, p. 117–126, 2016.

TIWARI, P., et al. Process standardization and storability of calcium fortified potato chips through vacuum impregnation. **Journal of Food Science Technology**, n. 55, v. 8, p. 3221-3231, 2018.

VILLAMIEL, M. et al. **Ultrasound in Food Processing: Recent Advances**. John Wiley & Sons. P.544, 2017.

WHITING, S.J. et al. Food fortification for bone health in adulthood: a scoping review. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 70, p. 1099–1105, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). World Health Organization Guidelines on food fortification with micronutrients. 2006. Disponível em <http://www.who.int/nutrition/publications>. Acesso em 15 jul 2018.

YAO, Y. Enhancement of mass transfer by ultrasound: Application to adsorbent regeneration and food drying/dehydration, **Ultrasonics Sonochemistry**. n. 31, p. 512–531, 2016.

YILMAZ, F.M.; BILEK, S.E. Ultrasound-assisted vacuum impregnation on the fortification of fresh-cut apple with calcium and black carrot phenolics. **Ultrasonics Sonochemistry**, n. 18, p- 1350-4177, 2018.