



UNIVERSIDADE CEUMA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE  
E BIOTECNOLOGIA – REDE BIONORTE



**EFEITO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA SOBRE A  
SOBREVIVÊNCIA E VIABILIDADE DE *Limosilactobacillus fermentum*  
ATCC 23271 EM FATIAS DE SAPOTI (*Achras zapota* L.)**

**LÍVIA MURITIBA PEREIRA DE LIMA COIMBRA**

**São Luís – MA**

**2023**

**LÍVIA MURITIBA PEREIRA DE LIMA COIMBRA**

**EFEITO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA SOBRE A  
SOBREVIVÊNCIA E VIABILIDADE DE *Limosilactobacillus fermentum*  
ATCC 23271 EM FATIAS DE SAPOTI (*Achras zapota* L.)**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE, na Universidade Ceuma, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Orientador(a): Prof. Dr. Luís Cláudio Nascimento da Silva

**São Luís – MA**

**2023**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Coimbra, Livia Muritiba Pereira de Lima.

EFEITO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA SOBRE A SOBREVIVÊNCIA E VIABILIDADE DE *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271 EM FATIAS DE SAPOTI *Achras zapota* L / Livia Muritiba Pereira de Lima Coimbra. - 2023.

63 f.

Orientador(a): Luís Cláudio Nascimento da Silva.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Rede - Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2023.

1. Armazenamento. 2. Conservação de Alimento. 3. Probiótico. 4. Trato gastrointestinal. I. Silva, Luís Cláudio Nascimento da. II. Título.

LÍVIA MURITIBA PEREIRA DE LIMA COIMBRA

**EFEITO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA SOBRE A  
SOBREVIVÊNCIA E VIABILIDADE DE *Limosilactobacillus fermentum*  
ATCC 23271 EM FATIAS DE SAPOTI (*Achras zapota* L.)**

Tese de doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE, na Universidade Ceuma, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia.

Aprovada em 14/09/2023

**Banca examinadora**

Documento assinado digitalmente



LUIS CLAUDIO NASCIMENTO DA SILVA

Data: 30/10/2023 11:29:25-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Luís Cláudio Nascimento da Silva (Orientador)  
Universidade Ceuma

Documento assinado digitalmente



CLOVIS MACEDO BEZERRA FILHO

Data: 30/10/2023 16:20:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Clóvis Macêdo Bezerra Filho  
Universidade Católica de Pernambuco

Documento assinado digitalmente



MARIA TEREZA DOS SANTOS CORREIA

Data: 06/11/2023 14:54:34-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Maria Tereza dos Santos Correia  
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente



ARAMYS SILVA DOS REIS

Data: 31/10/2023 15:51:25-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Aramys Silva dos Reis  
Universidade Federal do Maranhão

Documento assinado digitalmente



ANDRELINA MARIA PINHEIRO SANTOS

Data: 01/11/2023 17:02:00-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Andreлина Maria Pinheiro Santos  
Universidade Federal de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e oportunidades para realizar meus sonhos.

À meus pais pelo incentivo aos estudos.

À meu irmão, Victor Muritiba, pelo apoio, incentivo e compreensão.

À meu marido, Victor Coimbra, pelo incentivo, pelo companheirismo, dedicação, cumplicidade e paciência.

À meu filho Lucas, luz da minha vida, razão de tudo que sou e que faço.

Aos meus sogros pelo apoio e presença em todos os momentos.

À todos os familiares e amigos que torceram e colaboraram para conclusão desta etapa.

Ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede Bionorte e à Universidade Ceuma, pela oportunidade de execução deste trabalho.

À FAPEMA (Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão) solicitação UNIVERSAL 01259/18 e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil) por meio do edital 14/2011 – Universal através do processo 473208 / 2011-3, pelo apoio financeiro à pesquisa.

Às professoras Dr<sup>a</sup>. Samara Alvachian Cardoso Andrade e Dr<sup>a</sup>. Silvana Magalhães Salgado, pelo auxílio e dedicação desde o mestrado.

Ao meu orientador professor Dr. Luís Cláudio Nascimento da Silva, peça fundamental e indispensável nesse processo, meu agradecimento especial. Agradeço pela orientação, compreensão, incentivo, por toda dedicação e exemplo de profissional competente e humano.

Aos professores que compõem a Rede Bionorte por todo conhecimento compartilhado.

Às professoras Dr<sup>a</sup>. Adrielle Zagmignan, Dr<sup>a</sup>. Rita de Cássia Mendonça de Miranda e Dr<sup>a</sup>. Amanda Silva dos Santos Aliança pelas palavras de incentivo e contribuições científicas nessa trajetória.

À pesquisadora Ma. Gabrielle Damasceno Costa dos Santos por toda disponibilidade e auxílio na pesquisa juntamente com os alunos Paulo Victor Vieira Gomes e Jânaira Farias Araujo.

Aos colegas de trabalho e a coordenadora do curso de nutrição da Universidade Ceuma, Professora Dr<sup>a</sup>. Rosângela Maria Lopes de Sousa, agradeço pelo apoio e palavras de incentivo durante todo o processo de elaboração da tese.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O Sapoti (*Achras zapota* L.) é um fruto com grande potencial nutricional (fonte de carboidratos, pró-vitamina A, vitamina C e do complexo B e minerais como cálcio, fósforo e ferro) e muito apreciado no nordeste brasileiro. No entanto, é um fruto bastante perecível e de reduzida vida de prateleira devido ao seu elevado teor de umidade. A desidratação osmótica (DO) surge como alternativa para reduzir a umidade inicial do fruto e incorporar probióticos à sua matriz, a fim de favorecer o mercado consumidor. *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271 é uma cepa isolada de intestino humano que apresenta potencial probiótico. O objetivo desta pesquisa é otimizar o processo de desidratação osmótica do sapoti e avaliar a incorporação e sobrevivência de *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271 em sapotis osmoticamente desidratados durante o armazenamento do alimento e simulação de digestão no trato gastrointestinal. A desidratação osmótica foi realizada segundo um planejamento fatorial completo de  $2^3$  para determinar o efeito da temperatura (30 - 50°C), concentração de sacarose (40 - 60°Brix) e tempo de imersão (90 - 240 min) na perda de umidade (PU), ganho de sólidos (GS) e índice de eficiência de desidratação (IED). As amostras com maiores valores de IED foram submetidas à análise sensorial, seguida de análises físico-químicas, microbiológicas e estruturais. Após a otimização da DO, o ensaio com maior IED e melhor resultado na análise sensorial foi submetido à DO com *L. fermentum* ATCC 23271. A incorporação de *L. fermentum* ATCC 23271 foi realizada durante o processo de desidratação osmótica (DO) de fatias de sapoti sob temperatura, tempo e concentração de solução de sacarose predeterminados (40°C, 165 min, 50° Brix). Após a DO, foi analisada a sobrevivência do microrganismo durante o armazenamento (0, 7, 14, 21 e 28 dias) a 4°C e realizada uma simulação de digestão rápida no trato gastrointestinal (2h) das amostras armazenadas. A temperatura e a concentração da solução osmótica influenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ) na PU e GS, enquanto o IED foi significativamente influenciado ( $p < 0,05$ ) pela concentração da solução osmótica e pelo tempo de imersão. A amostra produzida por desidratação osmótica nas condições otimizadas (40°C, 50°Brix, 165 min) obteve maiores pontuações nos atributos sensoriais, atendimento aos padrões microbiológicos e gerou redução do turgor e rupturas das paredes celulares do sapoti. *L. fermentum* ATCC 23271 resistiu ao processo de DO com uma população de  $10^9$  UFC/g mesmo após 14 dias de armazenamento. Nas semanas seguintes, a população atingiu  $10^8$  UFC/g ( $p < 0,01$ ). Além disso, *L. fermentum* ATCC 23271 sobreviveu à passagem simulada pelo trato gastrointestinal, com valores superiores a  $10^8$  UFC/g para amostras armazenadas por até 21 dias. Portanto, o processo de desidratação osmótica do sapoti é uma boa alternativa para conservar o fruto e aumentar sua vida útil, possibilitando assim sua comercialização em diferentes regiões do país e agregando valor econômico para o produto final. Os resultados ainda demonstram que *L. fermentum* ATCC 23271 é uma cepa capaz de resistir ao processo de DO, tornando as fatias de sapoti osmoticamente desidratadas um potencial produto probiótico.

**Palavras-chave:** Probiótico; Conservação de Alimento; Armazenamento; Trato gastrointestinal.

## ABSTRACT

Sapoti (*Achras zapota* L.) is a fruit with great nutritional potential (source of carbohydrates, provitamin A, vitamin C, vitamin B complex, and minerals (such as calcium, phosphorus and iron), which is very popular in northeastern Brazil. However, it is a very perishable fruit with a reduced shelf life due to its high moisture content. Osmotic dehydration (OD) appears as an alternative to reduce the initial moisture of the fruit, allowing the incorporation of probiotics to its matrix, in order to favor the consumer market. *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271 is a well-known human gut strain with probiotic potential. The objective of this research is to optimize the process of osmotic dehydration of sapodilla and to evaluate the incorporation and survival of *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271 in osmotically dehydrated sapodilla during food storage and simulation of digestion in the gastrointestinal tract. Osmotic dehydration was performed according to a 2<sup>3</sup> full factorial design to determine the effect of temperature (30 - 50°C), sucrose concentration (40 - 60°Brix) and immersion time (90 - 240 min) on moisture loss (ML), solid gain (SG) and dehydration efficiency index (DEI). The samples with the highest DEI values were observed in sensory analysis, followed by physical-chemical, microbiological and therapeutic analyses. After optimizing the OD, the test with the highest DEI and the best result in the sensory analysis was submitted to the OD with *L. fermentum* ATCC 23271. The incorporation of *L. fermentum* ATCC 23271 was carried out during the process of osmotic dehydration (OD) of slices of sapodilla under predetermined temperature, time and sucrose solution concentration (40°C, 165 min, 50°Brix). After the OD, the survival of the microorganism during storage (0, 7, 14, 21 and 28 days) at 4°C was analyzed and a simulation of rapid digestion in the gastrointestinal tract (2h) of the stored samples was performed. The temperature and the concentration of the osmotic solution significantly influenced ( $p<0.05$ ) the ML and SG, while the DEI was significantly influenced ( $p<0.05$ ) by the concentration of the osmotic solution and the immersion time. The sample produced by osmotic dehydration under optimized conditions (40°C, 50°Brix, 165 min) obtained higher scores in sensory attributes, compliance with microbiological standards and generated a reduction in turgor and ruptures of sapodilla cell walls. *L. fermentum* ATCC 23271 resisted the OD process with a population of 10<sup>9</sup> CFU/g even after 14 days of storage. In the following weeks, the population reached 10<sup>8</sup> CFU/g ( $p<0.01$ ). Furthermore, *L. fermentum* ATCC 23271 survived the simulated passage through the gastrointestinal tract, with values greater than 10<sup>8</sup> CFU/g for samples stored for up to 21 days. Therefore, the process of osmotic dehydration of sapodilla is a good alternative to preserve the fruit and increase its shelf life, thus enabling its commercialization in different regions of the country and adding economic value to the final product. The results also demonstrate that *L. fermentum* ATCC 23271 is a strain capable of resisting the OD process, making sapodilla osmotically dehydrated slices a potential probiotic product.

**Keywords:** Probiotic; Food Preservation; Storage; Gastrointestinal tract.

## LISTA DE FIGURAS

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Árvore de sapotizeiro.....                                                            | 13 |
| <b>Figura 2.</b> Formatos de frutos, das variedades/tipos existentes (sapota e sapoti).....            | 14 |
| <b>Figura 3.</b> Fenômeno do transporte de massa durante o processo osmótico.....                      | 16 |
| <b>Figura 4.</b> Fatores que afetam a viabilidade dos probióticos no trato gastrointestinal (TGI)..... | 27 |

## ARTIGO 1

|                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1.</b> Surface response for moisture loss (ML) as a function of the concentration of sucrose solution (°Brix) and temperature (°C).....                                                   | 46 |
| <b>Figure 2.</b> Surface response for solid gain (SG) as a function of immersion time (minutes) and temperature (°C).....                                                                           | 47 |
| <b>Figure 3.</b> Surface response for solid gain (SG) as a function of the concentration of sucrose solution (°Brix) and temperature (°C).....                                                      | 47 |
| <b>Figure 4.</b> Surface response for the Dehydration Efficiency Index (DEI) as a function of immersion time (minutes) and the concentration of sucrose solution (°Brix).....                       | 48 |
| <b>Figure 5.</b> Surface response for Dehydration Efficiency Index (DEI) as a function of immersion time (minutes) and temperature (°C).....                                                        | 48 |
| <b>Figure 6.</b> Microstructural analysis of osmotically dehydrated sapodilla. (A) General microscopic aspect of dehydrated sapodilla showing disordered cells; (B) areas of cell wall rupture..... | 51 |

## ARTIGO 2

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1.</b> Survival of <i>L. fermentum</i> ATCC 23271 in dehydrated sapodilla slices during storage at 4 °C. Statistical differences in relation to the first day of storage: *p<0.05; *p<0.01.....                                                                                                                                                                                         | 57 |
| <b>Figure 2.</b> Survival of <i>L. fermentum</i> ATCC 23271 in osmotically dehydrated sapodilla slices after simulated passage in the stomach. (A) Evaluation of the sample stored for 7 days; (B) Evaluation of the sample stored for 14 days; (C) Evaluation of the sample stored for 21 days; (D) Evaluation of the sample stored for 28 days. ***p<0.001; ****p<0.0001; ND= Not detected..... | 58 |
| <b>Figure 3.</b> Survival of <i>L. fermentum</i> ATCC 23271 in osmotically dehydrated sapodilla slices after simulated passage in the intestine. (A) Evaluation of the sample stored for 7 days; (B) Evaluation of the sample stored for 14 days; (C) Evaluation of the sample stored for 21 days; (D) Evaluation of the sample stored for 28 days. **p<0.01; ***p<0.001; ND= Not detected....    | 59 |

## LISTA DE TABELAS

## ARTIGO 1

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Table 1.</b> Coded and decoded levels of independent variables.....                               | 43 |
| <b>Table 2.</b> Effects of independent variables on the ML, SG and DEI of sapodilla.....             | 45 |
| <b>Table 3.</b> Regression coefficients of the quadratic equation for ML, SG and DEI.....            | 45 |
| <b>Table 4.</b> Mean acceptance scores for dehydrated sapodilla (assays 7 and 9).....                | 49 |
| <b>Table 5.</b> Purchase intention for dehydrated sapodilla (assays 7 and 9).....                    | 49 |
| <b>Table 6.</b> Microbiological analysis of osmotically dehydrated sapodilla (assay 9).....          | 49 |
| <b>Table 7.</b> Centesimal composition of in natura and osmotically dehydrated sapodilla.....        | 50 |
| <b>Table 8.</b> Physicochemical characteristics of in natura and osmotically dehydrated sapodilla... | 50 |

## SUMÁRIO

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                                                            | <b>10</b> |
| 1.1. OBJETIVO GERAL.....                                                             | 12        |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                      | 12        |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                                 | <b>12</b> |
| 2.1. SAPOTI.....                                                                     | 12        |
| 2.2. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....                                                      | 15        |
| <b>2.2.1. Variáveis do processo.....</b>                                             | <b>17</b> |
| 2.2.1.1. Permeabilidade do tecido.....                                               | 17        |
| 2.2.1.2. Tipo de agente osmótico.....                                                | 18        |
| 2.2.1.3. Concentração da solução osmótica.....                                       | 19        |
| 2.2.1.4. Temperatura da solução osmótica.....                                        | 20        |
| 2.2.1.5. Agitação.....                                                               | 21        |
| 2.2.1.6. Tempo de imersão.....                                                       | 22        |
| 2.2.1.7. Geometria do fruto.....                                                     | 23        |
| 2.2.1.8. Pressão do sistema .....                                                    | 23        |
| 2.3 ANÁLISE SENSORIAL E SUA IMPORTÂNCIA NO DESENVOLVIMENTO DE<br>NOVOS PRODUTOS..... | 24        |
| 2.4 PROBIÓTICOS.....                                                                 | 25        |
| 2.5 PROBIÓTICOS E TRATO GASTROINTESTINAL.....                                        | 27        |
| 2.6 INCORPORAÇÃO DE PROBIÓTICOS DURANTE A DESIDRATAÇÃO<br>OSMÓTICA.....              | 29        |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                              | <b>30</b> |
| <b>3. ARTIGO 1.....</b>                                                              | <b>41</b> |
| <b>4. ARTIGO 2.....</b>                                                              | <b>54</b> |
| <b>5. CONCLUSÃO.....</b>                                                             | <b>63</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O sapotizeiro (*Achras zapota* L.) é uma espécie que possui boa adaptação e produção na região Nordeste do Brasil devido às condições de solo e clima apropriadas. Nesta região, o fruto é conhecido como “sapoti” tem formato ovoide, casca marrom e polpa de sabor doce e levemente adstringente (GOMES, 2006; UEKANE et al., 2017). Os sapotis são fontes de carboidratos, pró-vitamina A, vitamina C e do complexo B e minerais como cálcio, fósforo e ferro. Possuem em média 75% de umidade e alto percentual de perdas pós-colheita (GONSALVES, 2002; OLIVEIRA et al., 2011; UEKANE et al., 2017).

Apesar da ampla aceitação e dos aspectos nutricionais, o sapoti é raro fora das regiões tropicais, o que se deve, em parte, à sua alta perecibilidade, pois por ser climatérico, seu amadurecimento sob condições naturais é rápido, dificultando sua conservação e comercialização (COIMBRA et al., 2017). Neste sentido, existe a necessidade de se buscar e aprimorar formas de processamento e armazenamento deste fruto para prolongar o período de consumo, reduzindo as perdas devido à deterioração e aumentando a sua estabilidade, permitindo assim sua comercialização para regiões distantes de sua produção (DAMASCENO et al., 2008; YAHIA; GUTIERREZ-OROZCO, 2011; CHANDRA; KUMARI, 2015).

Os processos industriais em que há redução da atividade de água surgem como alternativa para solucionar e/ou minimizar os problemas das perdas pós-colheita do sapoti e facilitar a comercialização. O tratamento osmótico vem sendo utilizado, principalmente, como pré-tratamento a alguns processos convencionais, como a secagem ao ar. O processo da desidratação osmótica consiste na imersão de alimentos em uma solução concentrada, havendo a saída de água da fruta para a solução, migração de solutos da solução para a fruta e uma lixiviação dos solutos naturais do tecido do alimento (açúcares, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas) para solução osmótica. Este último não significativo em termos quantitativos (SILVA et al., 2012; COIMBRA et al., 2017).

Neste contexto, a desidratação osmótica apresenta-se como alternativa para reduzir em média de 20% a 50% a umidade inicial da fruta. Este processo envolve mecanismos de absorção de açúcar e remoção de água, e, como ambos são dependentes da temperatura e concentração, espera-se que estes parâmetros exerçam influência na velocidade de desidratação (CASTRO-GIRÁLDEZ, 2011). A utilização da desidratação osmótica em frutas e vegetais é um método que vem ganhando notoriedade, pois o mercado de frutas frescas tem crescido nos últimos anos induzida pela demanda dos consumidores de produtos alimentares frescos, minimamente processados, nutritivos, saudáveis e práticos (CHANDRA; KUMARI, 2015).

Podem ser citadas diversas vantagens da desidratação osmótica sobre outros processos de secagem, como maior retenção de componentes voláteis e manutenção da cor natural, a não utilização de conservantes artificiais; inibição de escurecimento enzimático, durante a subsequente secagem; baixo consumo de energia e melhora da qualidade final do produto (YADAV; SINGH, 2014; DERMESONLOUOGLOU et al., 2018).

O desejo dos consumidores em melhorar sua qualidade de vida é um fator importante que motivou a pesquisa e desenvolvimento de alimentos que promovam o bem-estar físico e mental daqueles que os consomem. Esta tendência favorece o consumo de alimentos enriquecidos em compostos fisiologicamente ativos, como vitaminas, minerais, fibras dietéticas, óleos, esteróis e probióticos (BETORET et al., 2003; MITROPOULOU et al., 2013; EMSER et al., 2017).

Os probióticos são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefícios à saúde do hospedeiro e têm sido associados à melhoria da saúde digestiva e ao fortalecimento do sistema imunológico (BORA et al., 2022). No entanto, para exercer efeito benéfico a população probiótica precisa sobreviver durante o armazenamento, durante o trânsito no trato gastrointestinal e atingir o intestino delgado em quantidades adequadas (VALÉRIO et al., 2020).

Os principais alimentos enriquecidos com probióticos são os produtos lácteos como queijo, iogurte e algumas bebidas lácteas (DE PRISCO; MAURIELLO, 2016). No entanto, existe uma crescente demanda do consumidor para produtos probióticos não lácteos, atendendo às desvantagens dos produtos lácteos, como a prevalência de alergia e intolerância à lactose (VIJAYA KUMAR et al., 2015).

Estudos recentes demonstraram que o enriquecimento de matrizes vegetais com probióticos é possível através do uso de técnicas de processamento que permitam alteração controlada das características microestruturais da matriz dos alimentos (RIBEIRO et al. 2014; EMSER et al., 2017). A este respeito, a desidratação osmótica foi proposta como técnica para incorporar diferentes compostos bioativos na parte interna da estrutura alimentar, ao mesmo tempo que remove água.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa é otimizar o processo de desidratação osmótica do sapoti (*Achras zapota* L.) e avaliar a incorporação e sobrevivência de *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271 em sapotis osmoticamente desidratados durante o armazenamento do alimento e simulação de digestão no trato gastrointestinal.

## 1.1 Objetivo Geral

Otimizar o processo de desidratação osmótica do sapoti (*Achras zapota* L.) e avaliar a incorporação e sobrevivência de *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271 em sapotis osmoticamente desidratados durante o armazenamento do alimento e simulação de digestão no trato gastrointestinal.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Otimizar o processo de Desidratação Osmótica do Sapoti;
- Realizar análise sensorial do sapoti osmoticamente desidratado;
- Demonstrar padrões microbiológicos do sapoti osmoticamente desidratado;
- Verificar composição centesimal e características físico-químicas do sapoti *in natura* e dele osmoticamente desidratado;
- Analisar a microestrutura do sapoti osmoticamente desidratado;
- Avaliar viabilidade de *L. fermentum* ATCC 23271 durante o armazenamento de sapoti osmoticamente desidratado;
- Avaliar viabilidade de *L. fermentum* ATCC 23271 durante simulação da digestão no trato gastrointestinal do sapoti osmoticamente desidratado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sapoti

*Achras zapota* L. pertence à família *Sapotaceae* que consiste em aproximadamente 70 gêneros e 800 espécies de árvores. Existem cerca de 85 espécies de plantas sob o gênero de *Achras zapota* L. que também é conhecida como *Manilkara*. *M. zapota*, *Achras zapotilla* Nutt., *Manilkara achras* (Mill.) Fosb., *Manilkara zapotilla* (Jacq.) Gilly, *Sapota achras* Mill. e *Sapota zapotilla* (Coville) (YONG; SHUKKOOR, 2020).

O sapotizeiro (*Achras zapota* L.) é nativo da América Central, incluindo o Sul do México, mas difundiu-se por todas as regiões tropicais do mundo, sendo cultivado na região nordeste da Amazônia brasileira (SANTOS; DE AQUINO SANTANA, 2019). A planta pode atingir uma altura de 18 até 30 metros (Figura 1), dependendo de sua localização (YONG; SHUKKOOR, 2020). É mais produtiva em altitudes inferiores a 400 metros, apesar de desenvolver-se, relativamente bem, em altitudes acima de 1.000 metros. O desenvolvimento do

sapotizeiro é favorecido por temperatura acima de 28°C, suportando longos períodos de seca (BANDEIRA et al., 2003).

**Figura 1.** Árvore de sapotizeiro.



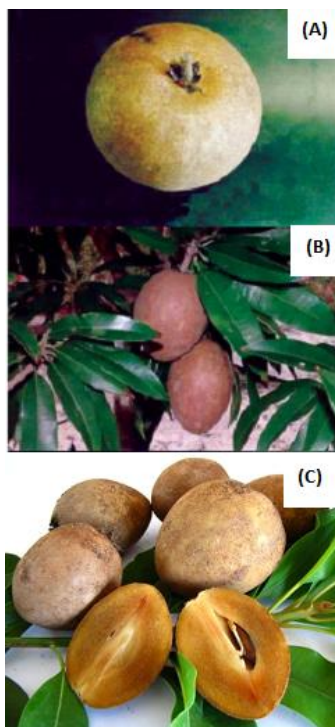
**Fonte:** <https://www.naturezabela.com.br/2012/03/sapoti-manilkara-zapota-acbras-zapota-l.html>

As sapotáceas, de modo geral, adaptam-se a uma ampla variedade de solos. Assim, embora se desenvolvam e cresçam em solos muito pobres, têm preferência por solos silício-argilosos e argilo-silicosos, profundos, bem drenados, férteis ou bem adubados (BANDEIRA et al., 2003; GOMES, 2006).

Apesar dessa planta adaptar-se às mais diferentes condições de solo, clima e altitude, seu desenvolvimento e produção são favorecidos por altas temperaturas e umidade, fato que propiciou boa adaptação do sapotizeiro em praticamente todo o Brasil, sendo produzido principalmente nos litorais e serras nordestinas, mas também é possível observar o desenvolvimento e produção de sapotizeiros nos planaltos mais baixos do centro-oeste e sudeste (GOMES, 2006; MORAIS et al., 2006).

O fruto do sapotizeiro era denominado pelos Astecas de “tzapotl” que originou zapota e sapota, no Brasil, foi incorporada a partícula ‘i’ do tupi, resultando no vocábulo sapoti (SILVA JUNIOR et al., 2014). O fruto varia na forma em que se apresenta. No nordeste brasileiro o fruto de formato ovoide e de menor tamanho é conhecido como “sapoti”, e o de formato arredondado e maior tamanho é chamado “sapota” (MOURA et al., 2019) (Figura 2A, B, C).

**Figura 2.** Formatos de frutos, das variedades/tipos existentes (sapota e sapoti).



(A) Sapota; (B) Sapoti; (C) Sapoti internamente

**Fonte:** BANDEIRA et al. (2005); <https://fsm2009amazonia.org.br/sapoti/>

Os frutos de sapoti são pequenos, variando de 4 a 10 cm de diâmetro, e pesam entre 45 e 200 gramas (SILVA JUNIOR et al., 2014). Apresentam casca fina e áspera marrom que protege uma polpa macia, suculenta e doce, de textura granulada bastante apreciada pelos consumidores, de cor castanho claro ao castanho-avermelhado. As frutas verdes são duras e possuem propriedades adstringentes devido a presença de taninos. O fruto pode ter de três a doze sementes marrons ou pretas brilhantes com cerca de 2 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro, apesar de existirem frutas sem sementes (SILVA JUNIOR et al., 2014; PAIXÃO et al., 2020; YONG; SHUKKOOR, 2020).

Segundo Silva Júnior et al. (2014), no Brasil, a Região Nordeste é responsável pela maior parte da produção, apresentando boa oferta no período de maio a julho e para cultivares considerados de maturação tardia, a colheita se inicia em setembro e prolonga-se até novembro. Geralmente um sapotizeiro adulto produz cerca de 1.000 frutos, mas pode ultrapassar os 3.000 frutos. A maior dificuldade para o produtor, porém, é determinar o ponto de colheita do fruto. Um dos processos utilizados é esperar que os sapotis amoleçam na árvore, o que necessita de frequentes exames (GOMES, 2006).

Nos diferentes países onde o sapotizeiro é cultivado, como o Brasil, o mesmo é consumido principalmente *in natura*, mas a partir da fruta podem-se produzir doces, compotas, geleias, sucos, sorvetes e milk-shakes. Na Índia é produzida a fruta seca. Além disso, o látex exsudado do tronco da árvore é levemente aromático e utilizado em alguns países, como

México, Venezuela e Guatemala para a fabricação de goma de mascar (MICKELBART, 1996; MIRANDA et al., 2002; PAIXÃO et al., 2020). Nutricionalmente, 100g da polpa do sapoti fornecem 96 calorias e são boas fontes de carboidratos, vitaminas e minerais como pró-vitamina A, vitaminas do complexo B, vitamina C, cálcio, potássio, magnésio, ferro e fósforo (OLIVEIRA et al., 2011; ALRASHOOD et al, 2020).

Apesar de estar ganhando aceitação dos consumidores, o sapoti ainda não é disponibilizado em regiões não tropicais e em momentos entressafra, devido a sua perecibilidade, visto que apresenta cerca de 75% de umidade, por isso a importância de aplicação de tecnologias como forma de aumentar a vida útil, proporcionando também condições de comercialização dos produtos processados para regiões não produtoras do fruto (OLIVEIRA et al., 2011; DE SOUSA et al., 2012).

## **2.2 Desidratação osmótica**

A desidratação osmótica é geralmente utilizada como método de pré-tratamento para o processamento de frutas e vegetais em combinação com métodos de secagem e congelamento (SONG et al., 2019). Este pré-tratamento é capaz de reduzir substancialmente os efeitos negativos das altas temperaturas empregadas na secagem e permite a criação de novos produtos alimentares e a introdução de tecnologias inovadoras (ROMERO et al., 2022).

A desidratação osmótica (DO) é um processo de remoção parcial de água usando a permeabilidade da membrana celular (SONG et al., 2019; PRITHANI; DASH, 2020). O processo consiste na imersão de alimentos sólidos em pedaços ou inteiros, em uma solução aquosa concentrada (hipertônica), resultando em dois principais fluxos simultâneos e contracorrentes, através das paredes celulares do alimento. O primeiro e mais importante é a saída de água do tecido do alimento para a solução osmótica, o segundo é a transferência de soluto da solução osmótica para o tecido do alimento. Em sistemas alimentares naturais há uma lixiviação dos solutos do tecido do alimento (açúcares, ácidos orgânicos, minerais, vitaminas) para solução osmótica. Esta transferência é quantitativamente insignificante quando comparada com os dois primeiros fluxos (Figura 3). A força motriz do processo é a diferença na pressão osmótica das soluções em ambos os lados das membranas semipermeáveis das células (TORREGIANI, 1993; CHIU et al., 2017; MUÑIZ-BECERÁ e al., 2017; PRITHANI; DASH, 2020; KULCZYŃSKI et al., 2021).

**Figura 3.** Fenômeno do transporte de massa durante o processo osmótico



Fonte: Autor

A desidratação osmótica de frutas e hortaliças não reduz apenas o conteúdo de água dos alimentos, mas também é capaz de inibir a degradação enzimática e oxidativa; favorecer a retenção dos pigmentos da fruta, preservando a cor; reter aromas voláteis, preservar a estrutura, o que pode melhorar os aspectos nutricionais, sensoriais e funcionais dos alimentos, sem comprometer sua integridade (FERNANDES et al., 2006; SAREBAN; ABBASI SOURAKI, 2016; KULCZYŃSKI et al., 2021).

Além disso, o tratamento osmótico pode reduzir o tempo total de processamento e secagem; reduzir o consumo de energia; reduzir custos na embalagem e distribuição, em função da diminuição do volume e do peso do alimento, e melhorar a qualidade final dos alimentos (COLLIGNAN et al., 2001; SERENO et al., 2001; KHIN et al., 2006; LECH et al., 2017; SONG et al., 2019).

A incorporação de soluto é considerada uma desvantagem do processo, especialmente quando se busca maior similaridade com as frutas e vegetais frescos, mas é desejável para mascarar a acidez, retardar o escurecimento enzimático, melhorar estabilidade do pigmento durante o armazenamento e auxiliar no prolongamento da vida útil do produto (KHIN et al., 2006; SONG et al., 2019).

Utilizando métodos combinados de preservação, grande parte do conteúdo de água inicial pode ser removida do tecido dos alimentos assegurando a estabilidade do produto final durante o armazenamento, e consequentemente, evitando a deterioração do mesmo (PANDISELVAM et al., 2021). As variáveis que influenciam no processo de desidratação osmótica são: fatores de permeabilidade do tecido do alimento; tipo, concentração e temperatura do agente osmótico utilizado; agitação do sistema; tempo de imersão; geometria

do fruto a ser desidratado e pressão do sistema (FALADE; IGBEKA, 2007; TORTOE, 2010; PHITSU, 2012; KULCZYŃSKI et al., 2021).

## **2.2.1 Variáveis do processo de desidratação osmótica**

### **2.2.1.1 Permeabilidade do tecido**

Em uma situação ideal a membrana semipermeável seria permeada pelas moléculas do solvente, mas não pelas moléculas de soluto. Porém, em frutas ou hortaliças, as barreiras celulares para o transporte de massa são a membrana e parede celular, que são unidades biológicas vivas. Estas membranas celulares, que são compostas principalmente de células do parênquima, permitem que as moléculas de solvente passem livremente através delas, mas também permitem, em menor grau, a passagem de algumas moléculas de soluto (TORREGANI, 1993). Portanto, durante a desidratação osmótica pode ocorrer perda de turgor da célula, alterações na lamela média e na resistência da parede celular, mudanças nas frações de volume de ar e líquido na amostra, além de mudanças no tamanho e forma do alimento (CHIRALT et al., 2001; GIANNAKOURET et al., 2020).

Existem fatores como composição química (proteína, carboidratos, gordura e sal), estrutura física (porosidade; arranjo, tamanho e forma das células; orientação das fibras) e pré-tratamentos que afetam a permeabilidade da membrana celular e estrutura da parede celular (TORTOE, 2010; GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2021). A cinética do processo também pode ser afetada pela presença de casca que exerce uma resistência na transferência de massa. Normalmente, esta resistência pode ser reduzida descascando ou cortando o produto (GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2021).

A utilização de pré-tratamentos como alta pressão hidrostática, vácuo parcial, tratamento de ultrassom, pulsos elétricos de alta intensidade e branqueamento tem mostrado aumentar os coeficientes de transferência de massa durante o processo osmótico (ESCOBAR et al., 2007, QIU et al., 2019). As diferentes espécies, variedades e graus de maturação dos vegetais também interferem na cinética de desidratação. Quanto à maturação as frutas e hortaliças, quando estão maduras apresentam aumento na porosidade do tecido possibilitando maior saída de água, com maior perda de peso (CHAVARRO-CASTRILLÓN et al., 2006). A variedade está relacionada principalmente com a compactação de tecidos, conteúdo inicial de sólidos solúveis e insolúveis, espaços intercelulares e atividade enzimática da fruta (TORTOE, 2010; CHAVAN, 2012).

### 2.2.1.2 Tipo de agente osmótico

A escolha do agente osmótico mais adequado depende de vários fatores: solubilidade do soluto em água e permeabilidade na membrana celular, custo, ação de preservação adicional no alimento, efeito sobre as propriedades organolépticas e estabilidade final do produto (OSORIO et al., 2007; ANTONIO et al., 2008; AHMED et al., 2016). Além disso, a solução osmótica pode influenciar o valor nutricional dos alimentos (ROMERO et al., 2022).

O agente osmótico deve ser eficaz, conveniente, não tóxico, ter gosto agradável e ser facilmente solúvel para formar uma solução altamente concentrada (YADAV; SINGH, 2014). A seleção do tipo de solução osmótica depende principalmente na compatibilidade com o alimento processado. Os dois tipos mais comuns de solutos utilizados são os açúcares (principalmente para frutas) e sais (para vegetais, carnes, peixe, camarão e queijos), com predominância na utilização de sacarose e cloreto de sódio, respectivamente (LECH et al., 2018; KROEHNKE et al., 2020). Porém, outros agentes osmóticos também são comuns, tais como: glicose, sorbitol, glicerol, frutose, xarope de glicose, xarope de milho, fruto-oligossacarídeo e suas combinações (RAMYA; JAIN, 2017; QIU et al., 2019) e um espectro muito mais amplo de substâncias osmóticas, como por exemplo, sucos de frutas concentrados (incluindo sucos de maçã, chokeberry, cereja, uva, groselha) (KULCZYŃSKI et al., 2021).

A sacarose tem sido o soluto mais utilizado para preservação de frutas devido a sua eficiência, conveniência, custo, capacidade de reduzir escurecimento (sua presença na superfície do material representa um obstáculo ao contato com o oxigênio), retenção de volátil aumentada e aroma desejável, devido ao reforço do sabor doce (LENART, 1996; OSORIO et al., 2007).

O cloreto de sódio, também, é considerado ótimo agente desidratante, pois apresenta alta capacidade de redução da atividade de água. No entanto, os produtos tratados com este soluto, normalmente, apresentam elevado ganho de sólidos, decorrente de seu baixo peso molecular, o que torna seu uso limitado (TONON et al., 2006; AHMED et al., 2016).

O tipo de agente osmótico afeta significativamente a cinética de remoção de água, ganho de sólidos e teor de água de equilíbrio. Açúcares com elevada massa molecular, como é o caso da sacarose, acarretam diminuição do ganho de sólidos e aumento da perda de água, já sacarídeos de baixa massa molecular como a glicose, frutose e sorbitol, favorecem o ganho de sólidos por causa da alta velocidade de penetração das moléculas nos tecidos vegetais, e reduzem a perda de água. Sucintamente pode-se afirmar que agentes osmóticos de baixa massa molecular penetram mais facilmente na célula de frutas em comparação com agentes osmóticos de alto peso molecular (DIONELLO et al., 2007; PHISUT, 2012)

Ispir e Togrul (2009) investigaram os efeitos de diferentes agentes osmóticos (sacarose, frutose, glicose, maltodextrina e sorbitol), utilizando concentração de 70%, na desidratação osmótica de damascos, e observaram que a maior e menor perda de água foi obtida na solução de sacarose e sorbitol, respectivamente. Este resultado pode ser explicado pelo peso molecular do agente osmótico e estrutura dos poros do damasco. O maior e menor ganho de sólidos ocorreram na solução de maltodextrina e frutose, respectivamente. Assim, os autores concluíram que as soluções de sacarose e frutose foram as melhores para desidratação osmótica de damascos, devido à alta perda de água e baixo ganho de sólidos.

Antonio et al. (2008) avaliaram a desidratação osmótica de batata-doce (*Ipomoea batatas*) utilizando soluções de sacarose (50%) e NaCl (0, 5 e 10%), a uma temperatura de 40°C, sob agitação constante de 90 rpm. As perdas de água mais elevadas foram obtidas com mistura de sacarose e NaCl, devido a um aparente efeito sinérgico dos solutos. Estes autores relataram que o processo de desidratação osmótica é principalmente influenciado pela mudança da concentração de NaCl, mas o efeito positivo da interação do sal com a sacarose também determinou a diminuição do ganho de sólidos quando os solutos estavam em concentrações máximas (sacarose a 50% e NaCl a 10%).

### **2.2.1.3 Concentração da solução osmótica**

A concentração do agente osmótico também afeta a cinética de transferência de massa durante os processos de desidratação osmótica (SHETE et al., 2018). Durante o processo osmótico o aumento da concentração de soluto resulta no aumento das taxas de perda de água e ganho de sólidos. A solução de sacarose menos concentrada leva a uma perda mínima de água e taxas de ganho de sólidos (TORTOE, 2010; GONZÁLEZ-PÉREZ et al., 2021).

Por outro lado, soluções de sacarose com concentrações maiores que 75°Brix são difíceis de serem preparadas, devido à solubilidade e por apresentarem altas viscosidades, o que dificulta a manipulação, o processo de agitação e o aumento da temperatura (MAEDA; LORETO, 1998).

Ispir e Togrul (2009) estudaram a desidratação osmótica de damascos, estes foram embebidos em soluções de diferentes concentrações (40%, 50%, 60% e 70%) de sacarose. Os autores relataram que o aumento na concentração da solução osmótica favoreceu a perda de água e ganho de sólidos em todo período de desidratação. Falade e Igbeka (2007) pesquisaram a desidratação osmótica de fatias de melancia em três diferentes concentrações de sacarose (40, 50 e 60°Brix), com proporção fruta: solução de 1:25 e temperaturas de 20, 30 e 40°C. A perda

de água e ganho de sólidos aumentaram com a elevação da concentração e temperatura da solução osmótica.

Giraldo et al. (2003) desidrataram osmoticamente cilindros de manga a 30°C, em solução de sacarose (35, 45, 55 e 65°Brix) em diferentes tempos. Foi observado que o ganho de sólidos e perda de água tiveram maior intensidade à 45°Brix. A taxa de perda global de massa aumentou quando a concentração da solução osmótica passou de 35 para 55 °Brix, mas o mesmo não ocorreu de 55 para 65°Brix.

Lima et al. (2004) utilizando soluções de sacarose nas concentrações de 45, 55 e 65 °Brix à temperatura de 65°C durante a desidratação osmótica de melão constataram que o tratamento osmótico à vácuo aliado a solução de sacarose com concentração de 65°Brix mostrou-se eficiente por acelerar a perda de água do produto, possibilitando alcançar em curto período de tempo uma excelente desidratação com ganho de sólidos relativamente pequeno. Portanto, a utilização de maiores concentrações de soluto na solução osmótica minimizam o efeito da diluição da solução aumentando a eficiência da desidratação.

Resultados semelhantes foram observados por Brochier et al. (2019) ao realizarem desidratação osmótica do kiwi, utilizando soluções osmóticas de sacarose a 45, 55 e 65°Brix. O uso da solução osmótica a 65°Brix resultou em aumento significativo da difusividade da água, sendo o mais indicado para este processo.

Abraão et al. (2013) realizaram desidratação osmótica de cilindros de abóbora utilizando soluções de sacarose a 40, 50 e 60°Brix em três temperaturas diferentes (40, 50 e 60°C). Constatando-se que a temperatura e a concentração da solução de sacarose influenciaram significativamente a difusão da água e do açúcar, quanto maior a concentração da solução de sacarose utilizada, menor a atividade de água do produto.

#### **2.2.1.4 Temperatura da solução osmótica**

É bem conhecido o fato que o processo de desidratação osmótica é um fenômeno dependente da temperatura e que esta variável afeta de forma imperativa a taxa de transferência de massa (BAHMANI et al., 2016). O aumento da temperatura do processo acelera a perda de água, enquanto a absorção de sólidos é menos afetada (RAJANYA; SINGH, 2021).

Altas temperaturas no processo causam inchaço e plastificação da membrana celular e, desse modo, a membrana se torna mais permeável à água, facilitando sua perda. Além disso, temperaturas mais elevadas geram diminuição na viscosidade do meio osmótico e da resistência externa à taxa de transferência de massa na superfície do produto. Assim, facilita a saída de água da fruta e promove altas taxas de difusão de soluto para fruta (AHMED et al., 2016; OSAE

et al., 2020). No entanto, temperaturas superiores a 60°C podem modificar e danificar as membranas celulares do tecido, causando colapso da matriz alimentar e favorecendo a impregnação, com consequente ganho de sólidos (RAMYA; JAIN, 2017).

Lombard et al. (2008) realizaram a desidratação osmótica de cilindros de abacaxi, a pressão atmosférica, utilizando a sacarose, nas concentrações de 45, 55 e 65°Brix à 30, 40 e 50°C durante 20, 40, 60, 120, 180 e 240 minutos. Estes autores constataram que a perda de água e ganho de sólidos foram maiores com o aumento da temperatura e concentração da solução, e que a temperatura teve maior influência sobre a perda de água.

Singh et al. (2007) desidrataram osmoticamente cubos de cenoura à 35, 45 e 55°C, razão do fruto: solução de 1:5 e concentração da solução a 50°Brix + 10% de NaCl. Os resultados revelaram que o aumento da temperatura favoreceu a perda de água mas o ganho de soluto manteve-se relativamente estável.

#### **2.2.1.5 Agitação**

O processo de desidratação osmótica envolve a utilização de soluções concentradas, com um ou mais solutos, que normalmente apresentam viscosidade elevada. A viscosidade é uma propriedade física importante, pois exerce grande influência sobre o nível de agitação do processo afetando a taxa de transferência de massa. Quando o meio osmótico é muito viscoso, o contato entre o material e a solução osmótica pode ser dificultado, pois os pedaços do alimento podem flutuar na solução, podendo haver deficiência na transferência de massa. Normalmente, costuma-se conduzir o processo de desidratação osmótica sob agitação, visando minimizar os efeitos da resistência externa e aumentar a taxa de transferência de massa. A agitação proporciona a circulação da solução osmótica em torno da amostra, assegurando contato contínuo da superfície do alimento com a solução hipertônica, gerando um gradiente na interface do produto/solução, aumentando a força motriz nas regiões próximas a superfície da fruta (MOREIRA; SERENO 2003; TONON et al., 2007; TORTOE, 2010; OSAE et al., 2020; RAJANYA; SINGH, 2021).

Azura et al. (1996) realizaram estudos com cilindros de batata e maçã que foram imersos em soluções de sacarose, cloreto de sódio e uma mistura de sacarose e cloreto de sódio. Os resultados obtidos mostraram que a incorporação de sólidos foi menor quando a força centrífuga era aplicada ao sistema. Os cilindros de batata perderam 70% de sua umidade original após 6h, enquanto que apenas 2% dos solutos foram incorporados pelas amostras. No sistema estático houve perda de 65% da umidade e 15% dos solutos foram incorporados. Com relação aos cilindros de maçã, resultados semelhantes foram obtidos: 83% de água perdida e 6% de ganho

de sólidos no sistema dinâmico, em comparação com 75% e 12% respectivamente, para o sistema estático.

Tonon et al. (2007) utilizaram velocidades de agitação de 0; 200; 500; 800 e 1000 rpm na desidratação osmótica de metades de tomates e constataram que a agitação influenciou positivamente na perda de água durante todo o processo, ou seja, quanto maior a velocidade, maior foi a perda água.

Moreira et al. (2007) estudou a taxa de transferência de massa em amostras de castanhas sob agitação e sem agitação. As amostras agitadas apresentaram maior perda de peso do que as amostras não agitadas.

O processo de agitação promove a turbulência, ocasionando maior taxa de difusão durante o processo (AHMED et al., 2016).

Mavroudis et al. (1998) observaram durante a desidratação osmótica de maçãs, que a perda de água foi maior em fluxo turbulento do que em laminar, comprovando a afirmação de Phisut (2012) que a perda de água é maior no fluxo turbulento.

Assim, a agitação é um bom processo complementar para maximizar a taxa de transferência de massa, diminuindo o tempo de contato entre o alimento e a solução osmótica (TORTOE, 2010; PHISUT, 2012).

#### **2.2.1.6 Tempo de imersão**

O aumento do tempo de imersão leva a uma maior perda de umidade durante a desidratação osmótica (SHETE et al, 2018).

Ocorrem dois estágios durante a desidratação osmótica: a velocidade de desidratação é praticamente constante durante as primeiras horas, reduzindo-se continuamente a partir de um dado instante (MAEDA; LORETO, 1998).

Singh et al. (2007) afirmam que a rápida perda de água e a absorção de sólidos próximo às camadas superficiais do tecido no início do processo podem causar mudanças estruturais levando à compactação das camadas superficiais e aumento da resistência à transferência de massa, causando redução gradual nas taxas de desidratação.

Alguns pesquisadores relataram que, enquanto a perda de água diminui rapidamente após as duas primeiras horas, o ganho de sólidos continua por um longo período de tempo (BRENNAN, 2003; CHAVAN, 2012).

Uma das melhores maneiras de reduzir a absorção de soluto e aumentar a proporção de perda de água para ganho sólido é interromper o processo osmótico no estágio inicial (OSAE et al., 2020). Giangiacomo et al. (1987) e Torregiani (1993) reafirmam que a perda de água

ocorre, principalmente, durante as duas primeiras horas e o maior ganho de sólidos, durante os 30 minutos iniciais.

Jokic et al. (2007) estudaram a influência do tempo de imersão (30 - 240 minutos), concentração de sacarose (30 - 70%), concentração de cloreto de sódio (0 - 8%), e temperatura da solução osmótica (30 - 50°C) na desidratação osmótica de fatias de beterraba. Foi observado que o tempo e concentração de sacarose exerceram efeito significativo sobre a perda de água. O tempo e concentração de cloreto de sódio influenciaram significativamente o ganho de sólidos. A perda de água foi maior no início do processo e o ganho de sólidos aumentou com o tempo de imersão.

#### **2.2.1.7 Geometria do fruto**

Em geral as formas geométricas mais utilizadas na desidratação osmótica de vegetais são: anéis, cubos, retângulos e fatias (CHAVAN, 2012).

Ispir e Togrul (2009), ao desidratar damascos cortados em cubos, na metade e inteiro em diferentes soluções observaram que a perda de água e ganho de sólidos foi maior com as dimensões dos damascos menores.

Sablani e Rahman (2003) estudaram a influência da geometria de amostras de manga (cubos de 2,0 cm de lado; fatias de  $3,5 \times 1,8 \times 1,0$  cm e cunhas com comprimento de 5,5 cm e laterais do triângulo  $2,0 \times 2,5 \times 1,5$  cm) sobre os coeficientes de distribuição de equilíbrio durante a desidratação. O aumento da perda de água e diminuição da incorporação de sólidos ocorreu com a diminuição da espessura geométrica da fruta.

#### **2.2.1.8 Pressão do sistema**

A pressão operacional é um fator importante na cinética de transferência de massa durante a desidratação osmótica de alimentos. Utiliza-se a pressão atmosférica para saber o efeito de fatores como a concentração da solução osmótica, tipo de soluto, temperatura, tempo de imersão e agitação na desidratação.

Nos últimos anos tem-se estudado a aplicação de vácuo na desidratação osmótica de várias frutas, podendo esta técnica manifestar algumas características que poderiam conduzir a vantagens importantes em sua aplicação industrial, quando comparada a desidratação osmótica sob pressão atmosférica. Entre as vantagens está o aumento das taxas de perda de água pelo fruto e aceleração da difusão de água do alimento que conseqüentemente reduz o tempo total do processo (FITO, 1994; SHI et al., 1995). Segundo Shi e Fito (1993), reduzir o tempo de

duração da desidratação osmótica contribui para a obtenção de frutas desidratadas de boa qualidade.

O mecanismo hidrodinâmico aliado aos fenômenos de relaxamento-deformação tem sido usado para explicar o modelo de transferência de massa que ocorre durante a desidratação osmótica à vácuo. Durante todo o processo, a pressão à vácuo e os gradientes de concentração da solução osmótica podem produzir mudanças na estrutura do produto e na cinética de desidratação, que dependem em grande parte, das propriedades viscoelásticas da matriz sólida (FITO, 1994).

Nuñez-Mancilla et al. (2011) observaram que a aplicação de pressão hidrostática elevada durante a desidratação de morangos propiciou aumento nos coeficientes de difusão de água e de sólidos solúveis em relação à operação realizada em pressão atmosférica.

### **2.3 Análise sensorial e sua importância no desenvolvimento de novos produtos**

A análise sensorial é uma ciência que se desenvolveu por exigência da indústria de alimentos para atender ao gosto do mercado consumidor. É considerada uma ferramenta essencial no julgamento da qualidade dos alimentos em relação ao sabor, textura, aparência, aroma, som e envolve a inspeção de um produto pelos cinco sentidos, ou seja, visão, olfato, paladar, tato e audição (SHARIF et al., 2017; RANADHEERA et al., 2018).

Há duas grandes classificações dos testes sensoriais possíveis de serem realizados, os analíticos e afetivos. Os testes analíticos são usados para avaliação de produtos em termos de diferença ou similaridade ou para identificação ou quantificação de características sensoriais. Os dois tipos de testes analíticos, discriminativos e descritivos, empregam equipes pequenas de provadores treinados e experientes (PALERMO, 2015).

Os testes afetivos são utilizados para avaliar a preferência ou aceitação de produtos. Geralmente, um grande número de respostas é exigido para cada avaliação. A equipe de provadores não é treinada, mas é selecionada para representar uma faixa da população. Os membros da equipe avaliadora são selecionados de acordo com os seguintes critérios: uso do produto; tamanho da família ou idade de membros específicos da família; ocupação do chefe do casal; nível econômico ou social; área geográfica (PALERMO, 2015).

A análise sensorial tem uma conotação subjetiva devido ao envolvimento humano. Por isso, muitos fatores devem ser levados em conta para abordar essas variações e aumentar a precisão da análise, tais como: seleção adequada dos provadores, treinamento da equipe, preparação e informações adequadas para o painel provador, área de aplicação dos testes sensoriais (localização apropriada e possuir sala de degustação com cabines de teste

individuais de tamanho e iluminação adequadas), área específica para preparação e serviço de amostras, identificação das amostras com números aleatórios, dentre outros (DE OLIVEIRA et al., 2022).

Ferreira et al. (2021) demonstraram o cuidado em aumentar a precisão da análise ao realizarem avaliação sensorial de quatro formulações de iogurtes probióticos e simbióticos sabor cajá. As amostras foram submetidas à avaliação sensorial por 80 provadores não treinados (61% mulheres e 39% homens) com idades entre 19 e 55 anos, em cabines individuais com luz branca artificial. Eles receberam aproximadamente 40 mL de cada amostra com temperatura entre 4 e 8°C em potes de polietileno com capacidade para 50 mL, codificados com números aleatórios de três dígitos, acompanhados de água e bolacha para limpeza do palato.

Uma aplicação adequada da metodologia sensorial permite obter resultados importantes sobre o alimento formulado: fornece conhecimento sobre sua aceitação no mercado consumidor, fornece características específicas ou perfis sensoriais descritivos que servem de base para alterações ou não do produto, conforme necessário (COMAN et al., 2012).

A análise sensorial tem importância significativa na indústria de alimentos, visto que através dela podem-se resolver problemas que ocorrem no processo de produção, determinar a qualidade de um produto e estreitar caminhos para atingir os interesses do consumidor, que está cada vez mais exigente em busca de alimentos de qualidade sensorial. Através da análise sensorial é possível avaliar a aceitação e preferência mercadológica de um determinado produto, propor mudanças na formulação e/ou no processamento, avaliar as matérias-primas utilizadas no processo produtivo, desenvolver novos produtos, avaliar a vida útil e as condições de armazenamento dos produtos (VICARI et al., 2021).

## **2.4 Probióticos**

Os probióticos são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, fornecem efeitos benéficos para a saúde do hospedeiro (KHALESI et al., 2018). Vários estudos descreveram os benefícios da ingestão regular de probióticos, incluindo: prevenção e tratamento de doenças gastrointestinais (CAI et al., 2017), efeitos anti-alérgicos (MENNINI et al., 2017), propriedades anticancerígenas (SHARIFI et al., 2017), redução do colesterol (HE et al., 2017), atividade imunomoduladora (RINALDI et al., 2018), redução da intolerância à lactose (OAK; JHA, 2018) e melhora da saúde mental (AKBARI et al., 2016), entre outros.

No entanto, para que se encontre um efeito benéfico em seres humanos, a população de bactérias probióticas viáveis deve estar situada na faixa de  $10^8$  a  $10^9$  UFC na recomendação

diária do produto pronto para o consumo, conforme indicação do fabricante (BRASIL, 2002), ou apresentar populações de  $10^6$  a  $10^7$  UFC/g ou mL no produto final (MENDONÇA et al., 2023).

Para atingir esse objetivo, as cepas devem ser selecionadas levando em consideração sua capacidade natural de sobrevivência durante as etapas de produção, armazenamento e distribuição dos alimentos funcionais, bem como a sua resistência à passagem pelo trato gastrointestinal (TGI) do hospedeiro (FERRANDO et al, 2015).

Muitos fatores foram identificados por influenciar a viabilidade dos probióticos em produtos alimentícios durante o processamento e armazenamento. Esses fatores incluem parâmetros intrínsecos do produto como pH, acidez titulável, oxigênio, atividade de água, presença de sal, açúcar e outros compostos (peróxido de hidrogênio, bacteriocinas, aromatizantes e corantes artificiais, etc.), parâmetros de processamento, incluindo condições de fermentação (temperatura de incubação, tratamento térmico, condições de resfriamento e armazenamento do produto, materiais da embalagem, escala de produção) e, finalmente, parâmetros microbiológicos (cepa de probióticos empregada, taxa e proporção de inoculação) (TERPOU et al., 2019).

Os microrganismos mais usados em alimentos probióticos comercializados pertencem aos gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, que pertencem ao grupo de bactérias ácido lácticas (SANKARAPANDIAN et al., 2022).

Bactérias ácido lácticas (BAL) são um grupo diversificado de bactérias gram-positivas, anaeróbio-aerotolerantes e produtoras de ácido láctico, sendo o *Lactobacillus* o gênero mais predominante (BEHERA et al., 2018).

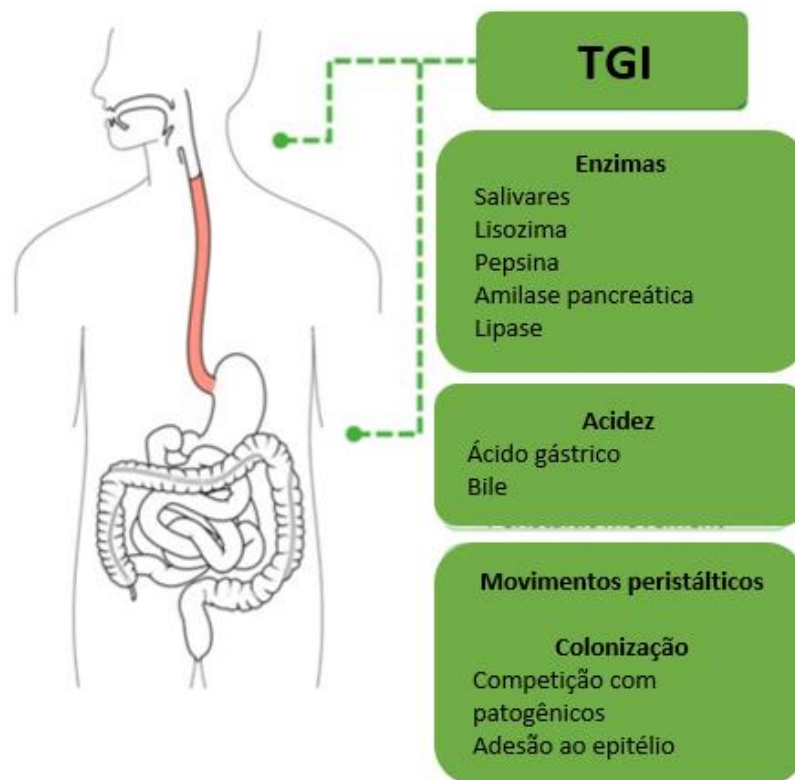
*Lactobacillus fermentum* é uma importante espécie de bactéria ácido láctica que sofreu, recentemente, mudança em sua taxonomia, sendo seu nome alterado para *Limosilactobacillus fermentum*. Esta espécie foi detectada em leite e fezes humanas, fezes de animais, tecidos vegetais e alimentos lácteos (DOS SANTOS et al., 2021). Diversas cepas de *L. fermentum* apresentam atividades probióticas, como efeitos anti-infecciosos, anti-inflamatórios, imunomoduladores, pró-longevidade e preventivos de danos, além de exibir boa capacidade de adesão à mucosa intestinal (ALE et al., 2020; HOSSAIN, 2020). Em geral, *L. fermentum* é reconhecida como uma bactéria segura e usada na preparação de alimentos para desencadear a fermentação (ALE et al., 2020).

## 2.5 Probióticos e Trato gastrointestinal

Os alimentos que contêm microrganismos probióticos com alegação de propriedades benéficas representam uma crescente no mercado de alimentos funcionais. Porém, os benefícios só são obtidos se os alimentos probióticos forem consumidos regularmente e a matriz alimentar conter uma quantidade mínima de microrganismos viáveis. Dessa forma, os microrganismos probióticos devem sobreviver não só ao prazo de validade do produto alimentar, mas também à passagem pelo trato gastrointestinal (TGI) (SOARES et al., 2019).

A viabilidade dos probióticos administrados por via oral é grandemente desafiada por condições adversas, particularmente, no estômago e intestino, incluindo ácido gástrico, sais biliares e enzimas digestivas, antes de chegarem ao seu local funcional no trato gastrointestinal (TGI) (DA SILVA et al., 2021). Na Figura 4 é possível observar algumas condições adversas que afetam a sobrevivência dos probióticos no TGI.

**Figura 4.** Fatores que afetam a viabilidade dos probióticos no trato gastrointestinal (TGI).



**Fonte:** Adaptado TERPOU et al. (2019)

Quando os probióticos são ingeridos, eles serão primeiro expostos à saliva na boca. Porém, a influência da saliva nas taxas de sobrevivência dos probióticos parece ser mínima, não

mostrando perda significativa de contagem de células quando expostas à saliva (HAN et al., 2021).

Depois de passar pelo esôfago, os probióticos chegam ao estômago onde são expostos ao fluido ácido gástrico. O trânsito pelo estômago leva entre 5 min e 2 h, podendo chegar à 5h, e a exposição prolongada ao ambiente ácido, com pH entre 1 e 3, é um grande desafio para sobrevivência dos probióticos (COOK et al., 2012; CORSTENS et al., 2017; SARAO; ARORA, 2017).

As variações interindividuais na acidez do estômago são causadas por vários fatores, como ingestão alimentar, variações sazonais, composição da refeição anterior, estado de alimentação, estado de saúde, idade, entre outros. Em geral, o estômago em jejum - onde nenhum alimento é presente - é mais ácido do que no estado alimentado (CORSTENS et al., 2017).

Além disso, outras condições adversas presentes no estômago, incluindo força iônica, atividade enzimática (pepsina) e agitação mecânica, demonstraram ter impacto na viabilidade dos probióticos (YAO et al., 2020) .

Depois de passar pela porção final do estômago (piloro), as bactérias probióticas chegarão ao intestino delgado que é dividido em três zonas: a parte mais proximal é denominada duodeno, a região intermediária o jejuno e a parte mais distal o íleo, onde há abundante suco pancreático e bile. Sob o efeito neutralizante do fluido intestinal, o pH no intestino delgado é de cerca de 6,0 a 7,0, muito mais suave que o suco gástrico. No entanto, os sais biliares e as enzimas digestivas (incluindo lipases, proteases - tripsina e quimotripsina- e amilases) também podem afetar a viabilidade dos probióticos por meio da ruptura da membrana celular e danos ao DNA (HAN et al., 2021).

Após o íleo, o probiótico sobrevivendo e chegando ao colón (também chamado intestino grosso) enfrenta o próximo desafio que é a colonização. Os probióticos devem competir com a microbiota do hospedeiro por nutrientes e locais de adesão para poderem colonizar a mucosa (ZMORA et al., 2018 ; YAO et al., 2020).

Zoldan et al. (2023) avaliaram a viabilidade de *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactiseibacillus casei* e *Bacillus subtilis* em chocolates ao leite e 70% cacau quando submetidos às condições de simulação de passagem pelo TGI. Observou-se que *L. casei* apresentou um perfil de resistência, pois, após ser exposto a uma condição de pH 3,0 por um período de 2 h (fase gástrica) e pH 7,0 por mais 2 h (fase intestinal), houve uma diminuição da viabilidade na matriz de chocolate de apenas 5 a 12% quando comparada à viabilidade inicial. Já viabilidade de *B. subtilis* na passagem pelo TGI foi ainda melhor, pois a diminuição foi de apenas 2 a 6%, com valores acima de 8,0 log UFC/g, em relação à viabilidade inicial. Pode-se

inferir que a matriz conferiu proteção, gerando resistência às condições estressantes a que foi submetida na passagem simulada ao TGI.

Portanto, é fundamental conhecer a composição físico-química da matriz alimentar e seu impacto na sobrevivência dos microrganismos probióticos (YAO et al., 2020).

## 2.6 Incorporação de probióticos durante a desidratação osmótica

A maioria dos alimentos funcionais industriais contendo probióticos são encontrados principalmente em produtos lácteos tradicionais, como iogurte e kefir, com prazo de validade e não são adequados para consumidores que lidam com intolerância à lactose, alergia à proteína do leite ou são vegetarianos (MORAIS et al. 2018; AKMAN et al., 2019).

Estudos recentes demonstraram que o enriquecimento de matrizes vegetais com probióticos é possível através do uso de técnicas de processamento que permitam alteração controlada das características microestruturais da matriz dos alimentos (RIBEIRO et al. 2014; EMSER et al., 2017). A este respeito, a desidratação osmótica foi proposta como técnica para incorporar diferentes compostos bioativos na parte interna da estrutura alimentar, ao mesmo tempo que remove água.

A desidratação osmótica é um processo de imersão de alimentos em uma solução concentrada (por exemplo, açúcar, sal ou um componente fisiológico ativo) durante um certo tempo e temperatura permitindo a migração espontânea de água dos tecidos alimentares em direção à solução osmótica enquanto os sólidos migram da solução para a superfície e o interior do material biológico. Durante esse processo é possível enriquecer a matriz das frutas utilizando soluções com altas concentrações de bactérias probióticas (RASCÓN et al, 2018).

Granado-Lorencio e Hernandez-Alvarez (2016) afirmaram que a adição de probióticos a matrizes à base de frutas e cereais são mais complexas do que à produtos lácteos, porque as bactérias precisam de proteção contra as condições ácidas nesses meios.

Emser et al. (2017) realizaram a incorporação de *L. plantarum* 299v ( $10^7$ - $10^8$  UFC/g) em cubos de maçã desidratados osmoticamente (24 h a 37°C) usando sacarose e sorbitol como agentes osmóticos, o probiótico sobreviveu por um período de 6 dias a 4°C mantendo as contagens de viabilidade de  $>10^7$  UFC/g. Além disso, a viabilidade não diminuiu durante a simulação das condições gastrointestinais.

Rascón et al. (2018) realizaram a desidratação osmótica de fatias de banana com incorporação de *L. rhamnosus*. A solução osmótica probiótica foi preparada misturando células probióticas na concentração de  $10^{10}$  UFC/ml e uma solução concentrada de sacarose de 50%. Observou-se que o conteúdo de *L. rhamnosus* na banana osmoticamente desidratada foi de  $10^9$

UFC/g, o que corresponde ao valor normalmente encontrado em frutas enriquecidas com bactérias probióticas. Este resultado mostra que a alta impregnação probiótica em fatias de banana foi alcançada em tempos de 35 a 200 minutos justamente quando ocorreu uma rápida transferência de massa durante o processo osmótico, devido à ocorrência de um transporte da bactéria probiótica para a superfície e para o tecido do fruto. Portanto, a alta viabilidade de *L. rhamnosus* em soluções hipertônicas de sacarose pode ser útil para a obtenção de frutos enriquecidos com esta bactéria probiótica através da aplicação do processo de impregnação por desidratação osmótica.

Vijay et al. (2020) desenvolveram triângulos de abacaxi funcionais por infusão de *Lactiplantibacillus plantarum* e *Lacticaseibacillus casei* durante desidratação osmótica com solução de sacarose a 50°Brix e avaliaram sobrevivência sob estresse gastrointestinal e estabilidade de armazenamento (20 dias a -20°C) das bactérias probióticas no produto. Tanto *L. plantarum* quanto *L. casei* apresentaram sobrevivência superior a 6 log UFC/g até 10 dias de armazenamento refrigerado e exibiram boa sobrevivência de até 8,6 e 8,7 log UFC/g, respectivamente, após 60 min de incubação, registrando redução de aproximadamente 1 log UFC/g após incubação por 120 min, mas ainda assim mantiveram viabilidade de >6 log UFC/g que, segundo os autores, é o suficiente para exercer benefícios positivos para a saúde.

## REFERÊNCIAS

- ABRAÃO, A. S.; LEMOS, A. M.; VILELA, A.; SOUSA, J. M.; NUNES, F. M. Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 481–494, 2013.
- AHMED, I.; QAZI, I. M.; JAMAL, S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 34, p. 29-43, 2016.
- AKBARI, E.; ASEMI, Z.; DANESHVAR KAKHAKI, R.; BAHMANI, F.; KOUCHAKI, E.; TAMTAJI, O. R.; HAMIDI, G. A.; SALAMI, M. Effect of Probiotic Supplementation on Cognitive Function and Metabolic Status in Alzheimer's Disease: A Randomized, Double-Blind and Controlled Trial. **Frontiers in Aging Neuroscience**, v.8, article 256, 2016.
- AKMAN, P. K.; UYSAL, E.; OZKAYA, G. U.; TORNUK, F.; DURAK, M. Z. Development of probiotic carrier dried apples for consumption as snack food with the impregnation of *Lactobacillus paracasei*. **LWT - Food Science and Technology**, v. 103, p. 0 – 63, 2019.
- ALE, E. C.; ROJAS, M. F.; REINHEIMER, J. A.; BINETTI, A. G. Lactobacillus fermentum: Could EPS production ability be responsible for functional properties?. **Food microbiology**. v. 90, p. 103465, 2020.

- ALRASHOOD, S. T. et al. Protective effect of lyophilized sapodilla (*Manilkara zapota*) fruit extract against CCl<sub>4</sub>-induced liver damage in rats. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 9, p. 2373-2379, 2020.
- ANTONIO, G. C.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Osmotic dehydration of sweet potato (*Ipomoea batatas*) in ternary solutions. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 696-701, 2008.
- AZURA E.; GARCIA H. S.; BERISTAIN, C. I. Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. **Food Research International**, v. 29, n. 2, p. 195-199, 1996.
- BAHMANI, A.; JAFARI, S.M.; SHAHIDI, S.A.; DEHNAD, D. Mass transfer kinetics of eggplant during osmotic dehydration by neural networks. **J Food Process Preserv**, v. 40, n. 1, p. 815–827, 2016.
- BANDEIRA, C. T.; MESQUITA, A. L. M.; AQUINO, A. R. L.; CAVALCANTI JR., A. T.; SANTOS, F. J. S.; OLIVEIRA, F. N. S.; NETO, J. S.; BARROS, L. M.; SOBRINHO, R. B.; LIMA, R. N.; OLIVEIRA, V. H. **O cultivo do sapotizeiro**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 20p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular técnica, 13).
- BEHERA, S. S.; RAY, R. C.; ZDOLEC, N. *Lactobacillus plantarum* with Functional Properties: An Approach to Increase Safety and Shelf-Life of Fermented Foods. **BioMed Research International**, v. 2018, article ID 9361614, p. 1–18, 2018.
- BETORET, N. et al. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. **Journal of Food Engineering**, v. 56, n. 2-3, p. 273-277, 2003.
- BORA, S. et al. Protective Effect of *Lactobacillus sporogenes* against Arsenic-Induced Hematological Alterations in Male Albino Wistar Rats. **Biological Trace Element Research**, v. 200, p. 4744–4749, 2022.
- BRASIL, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – Resolução RDC nº 2, de 07 de janeiro de 2002. Aprova o Regulamento Técnico de Substâncias Bioativas e Probióticos Isolados com Alegação de Propriedades Funcional e ou de Saúde**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2002.
- BRENNAN, J. G. **Dielectric and Osmotic Drying**. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. London: Elsevier Science, 2003, p.1938-1942.
- BROCHIER, B.; INÁCIO, J. M.; NOREÑA, C. P. Z. Study of osmotic dehydration of kiwi fruit using sucrose solution. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2018146, 2019.
- CAI, J.; ZHAO, C.; DU, Y.; ZHANG, Y.; ZHAO, M.; ZHAO, Q. Comparative efficacy and tolerability of probiotics for antibiotic-associated diarrhea: Systematic review with network meta-analysis. **United European Gastroenterology Journal**, v. 0, n. 0, p. 1–12, 2017.
- CASTRO-GIRÁLDEZ, M.; TYLEWICZ, U.; FITO, P. J.; DALLA ROSA, M.; FITO, P. Analysis of chemical and structural changes in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward) through the osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 04, p.599–608, 2011.

CHANDRA, S.; KUMARI, D. Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 4, p. 552-561, 2015.

CHAVAN, U. D. Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. **Journal of Food Research**, v. 1, n. 2, p. 201-209, 2012.

CHAVARRO – CASTRILLÓN, L. M.; OCHOA- MARTINEZ, C. I.; AYALA- APONTE, A. Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya (Carica papaya L. var. Maradol). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p.596-603, 2006.

CHIRALT, A.; MARTÍNEZ,-NAVARRETE, N.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; TALENS, P.; MORAGA, G.; AYALA, A.; FITO, P. Changes in mechanical properties throughout osmotic process Cryoprotectant effect. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 1, p. 129-135, 2001.

CHIU, M. T.; THAM, H. J.; LEE, J. S. Optimization of osmotic dehydration of Terung Asam (*Solanum lasiocarpum Dunal*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 10, p. 3327–3337, 2017.

COIMBRA, L. M. P. D. L.; ARRUDA, H. A. S. D.; MACHADO, E. D. C. L.; SALGADO, S. M.; ALBUQUERQUE, S. S. M. C. D.; ANDRADE, S. A. C. Water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of sapodilla (*Achras zapota L.*). **Ciência Rural**,v. 47, n. 08, p. 1-7, 2017.

COLLIGNAN, A.; BOHUON, P.; DEUMIER, F.; POLIGNÉ, I. Osmotic treatment of fish and meat products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 153-162, 2001.

COMAN, M. M.; CECCHINI, C.; VERDENELLI, M. C.; SILVI, S.; ORPIANESI, C.; CRESCI, A. Functional foods as carriers for SYN BIO®, a probiotic bacteria combination. **International Journal of Food Microbiology**, v. 157, n.3, p.346–352, 2012.

COOK, M. T.; TZORTZIS, G.; CHARALAMPOPOULOS, D.; KHUTORYANSKIY, V. V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. **J. Control. Release**, v. 162, n. 1, p. 56–67, 2012.

CORSTENS, M. N. et al. Food-grade micro-encapsulation systems that may induce satiety via delayed lipolysis: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 10, p. 2218-2244, 2017.

DA SILVA, M. N. et al. In vitro test to evaluate survival in the gastrointestinal tract of commercial probiotics. **Current Research in Food Science**, v. 4, p. 320-325, 2021.

DAMASCENO, L. F.; DE BRITO, E. S.; DOS SANTOS GARRUTI, D.; MOREIRA, G. É. G.; DE AZEREDO, H. M. C. Avaliação da aceitação de sapoti de umidade intermediária. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 01, p. 177-180, 2008.

DE OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, P. L.; DE LIMA REZENDE, T. K. Controle de qualidade em Análise Sensorial: Uma Revisão. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 11, p. 3043-3054, 2022.

DE PRISCO, A.; MAURIELLO, G. Probiotication of foods: a focus on microencapsulation tool. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, n. 01, p. 27 – 39, 2016.

DE SOUSA, P. E.; DE FIGUEIREDO, F. M. R.; QUEIROZ, M. J. A.; MELO, S. M. L.; DE SOUSA, C. F. Caracterização físico-química da polpa de sapoti oriunda da região do Ceará. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n. 1, p. 45-48, 2012.

DERMESONLOUOGLOU, E.; CHALKIA, A.; TAOUKIS, P. Application of Osmotic Dehydration to Improve the Quality of Dried Goji Berry. **Journal of Food Engineering**, v. 232, p. 36 – 43, 2018.

DIONELLO, R. F.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O.; QUEIROZ, V. A. V. Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 701-709, 2007.

DOS SANTOS, C.I.; CAMPOS, C.D.L.; NUNES-NETO, W.R.; DO CARMO, M.S.; NOGUEIRA, F.A.B.; FERREIRA, R.M.; COSTA, E.P.S.; GONZAGA, L.F.; ARAÚJO, J.M.M.; MONTEIRO, J.M.; MONTEIRO, C.R.A.V.; PLATNER, F.S.; FIGUEIREDO, I.F.S.; HOLANDA, R.A.; MONTEIRO, S.G.; FERNANDES, E.S.; MONTEIRO, A.S.; MONTEIRO-NETO, V. Genomic Analysis of *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271, a Potential Probiotic Strain with Anti-*Candida* Activity. **J. Fungi**, v. 7, n. 10, p. 794, 2021.

EMSER, K.; BARBOSA, J.; TEIXEIRA, P.; BERNARDO DE MORAIS, A. M. M. *Lactobacillus plantarum* survival during the osmotic dehydration and storage of probiotic cut apple. **Journal of Functional Foods**, v. 38, n. 01, p. 519–528, 2017.

ESCOBAR, M. P.; GALINDO, F. G.; WADSO, L.; NÁJERA, J. R.; SJOHOLM, I. Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots (*Daucus carota* L. cv. Nerac). **Journal of Food Engineering**, v. 81, n. 2, p. 313-317, 2007.

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

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

FERRANDO, V.; QUIBERONI, A.; REINHEMER, J.; SUÁREZ, V. Resistance of functional *Lactobacillus plantarum* strains against food stress conditions. **Food Microbiology**, v. 48, n. 01, p. 63 – 71, 2015.

FERREIRA, L. C.; COIMBRA, L. M. P. D. L.; SOUSA, N. L. D.; MACIEL, E. M. C.; LIVERA, A. V. S.; SILVA, C. G. M. D. Iogurte simbiótico sabor cajá (*Spondias Mombin* L.): características físico-químicas, microbiológicas e de aceitabilidade. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, e2019111, 2021.

FITO, P. Modeling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, v. 22, n. 2, p. 313-328, 1994.

GIANGIACOMO, R. TORREGIANI, D. ABBO, E. Osmotic Dehydration of Fruits: Part1. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 11, n.3, p. 183-195, 1987.

GIANNAKOUROU, M. C.; DERMESONLOUOGLOU, E. K.; TAOUKIS, P. S. Osmodehydrofreezing: An integrated process for food preservation during frozen storage. **Foods**, v. 9, n. 8, p. 1042, 2020.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**, v. 58, n. 1, p. 33–43, 2003.

GOMES, R. P. **Fruticultura brasileira**. 13<sup>a</sup> ed. São Paulo: Nobel, 2006. 446p.

GONSALVES, P. I. *Livro dos Alimentos*. 2 ed. São Paulo: Summus, 2002.

GONZÁLEZ-PÉREZ, J. E.; RAMÍREZ-CORONA, N.; LÓPEZ-MALO, A. Mass Transfer During Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: Process Factors and Non-Thermal Methods. **Food Engineering Reviews**, v. 13, n. 2, p. 344–374, 2021.

GRANADO-LORENCIO, F.; HERNÁNDEZ-ALVAREZ, E. Functional foods and health effects: a nutritional biochemistry perspective. **Current Medicinal Chemistry**, v. 23, n. 26, p. 2929-2957, 2016.

HAN, S. et al. Probiotic gastrointestinal transit and colonization after oral administration: A long journey. **Frontiers in cellular and infection microbiology**, v. 11, p. 609722, 2021.

HE, J.; ZHANG, F.; HAN, Y. Effect of probiotics on lipid profiles and blood pressure in patients with type 2 diabetes: A meta-analysis of RCTs. **Medicine**, v. 96, n. 51, e9166, 2017.

HOSSAIN, T. J.. Functional genomics of the lactic acid bacterium *Limosilactobacillus fermentum* LAB-1: metabolic, probiotic and biotechnological perspectives. **Heliyon**. v. 8, n. 11, e11412, 2022.

ISPIR, A.; TOGRUL, I. T. Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 87, n. 2, p. 166–180, 2009.

JIA, F. F.; ZHANG, L. J.; PANG, X. H.; GU, X. X.; ABDELAZEZ, A.; LIANG, Y., MENG, X. C. Complete genome sequence of bacteriocin-producing *Lactobacillus plantarum* KLDS1.0391, a probiotic strain with gastrointestinal tract resistance and adhesion to the intestinal epithelial cells. **Genomics**, v. 109, n. 5-6, p. 432-437, 2017.

JOKIC, A.; GYURA, J.; LEVIC, L.; ZAVARGÓ, Z. Osmotic dehydration of sugar beet in combined aqueous solutions of sucrose and sodium chloride. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 47-51, 2007.

KHALESİ, S.; BELLİSSIMO, N.; VANDELANOTTE, C.; WILLIAMS, S.; STANLEY, D.; IRWIN, C. A review of probiotic supplementation in healthy adults: helpful or hype? *European Journal of Clinical Nutrition*, v. 73, p. 23 - 37, 2018.

KHIN, M.M.; ZHOU, W.; PERERA, C. A study of mass transfer in osmotic dehydration of coated potato cubes. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 1, p. 84-95, 2006.

KROEHNKE, J.; SZADZIŃSKA, J.; RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, E.; BIEGAŃSKA-MARECIK, R.; MUSIELAK, G.; MIERZWA, D. Osmotic dehydration and convective drying of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*)—The influence of ultrasound on process kinetics and product quality. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 71, n. 1, p. 105377, 2021.

KULCZYŃSKI, B.; SULIBURSKA, J.; RYBARCZYK, M.; GRAMZA-MICHAŁOWSKA, A. The effect of osmotic dehydration conditions on the calcium content in plant matrice. **Food Chemistry**, v. 343, n. 1, p. 128519, 2021.

LECH, K.; MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; NOWICKA, P.; FIGIEL, A. The influence of physical properties of selected plant materials on the process of osmotic dehydration. **LWT**, v. 91, n.1, p. 588–594, 2018.

LECH, K.; MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; NOWICKA, P.; FIGIEL, A. The Influence of the Osmotic Dehydration Process on Physicochemical Properties of Osmotic Solution. **Molecules**, v. 22, n. 12, p. 2246, 2017.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology**, v. 14, n. 2, p. 391–413, 1996.

LIMA, A. S.; FIGUEIREDO, R. W.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; SOUSA, P. H. M. Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p.107-109, 2004.

LOMBARD, G. E.; OLIVEIRA, J. C.; FITO, P.; ANDRÉS, A. Osmotic dehydration of pineapple as a pre-treatment for further drying. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 2, p. 277–284, 2008.

MAEDA, M.; LORETO, R. L. Desidratação osmótica de bananas. **Semina: Ciências Agrárias**, v.19, n.1, p.60-67,1998.

MAVROUDIS, N. E.; GEKA, V.; SJÖHOLM, I. Osmotic dehydration of apples - effects of agitation and raw material characteristics. **Journal of Food Engineering**, v. 35, n. 2, p. 191-209, 1998.

MENDONÇA, A. A.; PINTO-NETO, W. D. P.; DA PAIXÃO, G. A.; SANTOS, D. D. S; DE MORAIS JR, M. A.; DE SOUZA, R. B. Journey of the Probiotic Bacteria: Survival of the Fittest. **Microorganisms**, v. 11, n. 1:95, 2023

MENNINI, M.; DAHDAH, L.; ARTESANI, M. C.; FIOCCHI, A.; MARTELLI, A. Probiotics in Asthma and Allergy Prevention. **Frontiers in pediatrics**, v. 5, n. 165, p. 1 – 5, 2017.

MICKELBART, M. V. Sapodilla: A potential crop For subtropical climates. In: JANICK, J. **Progress in new crops**. Alexandria: ASHS Press, 1996. p.439-446.

MIRANDA, M. R. A.; SILVA, F. S. S.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; ARAÚJO, N. C. C. Armazenamento de dois tipos de sapoti sob condição ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 644-646, 2002.

- MITROPOULOU, G.; NEDOVIC, V.; GOYAL, A.; KOURKOUTAS, Y. Immobilization Technologies in Probiotic Food Production. **Journal of Nutrition and Metabolism**, v. 2013, article ID 716861, p. 1 – 15, 2013.
- MORAIS, P. L. D.; LIMA L. C. O.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; ALMEIDA, A. S. Alterações físicas, fisiológicas e químicas durante o armazenamento de duas cultivares de sapoti. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.41, n.4, p.549-554, 2006.
- MORAIS, R. M. S. C.; MORAIS, A. M. M. B.; DAMMAK, I.; BONILLA, J.; SOBRAL, P. J. A.; LAGUERRE, J.-C.; RAMALHOSA, E. C. D. Functional Dehydrated Foods for Health Preservation. **Journal of Food Quality**, v. 2018, article ID 1739636, p. 1–29, 2018.
- MOREIRA, R., SERENO, A. M.. Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 57, n. 1, p. 25–31, 2003.
- MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M.D.; VAZQUEZ, G. Effect of stirring in the osmotic dehydration of chestnut using glycerol solutions. **LWT-Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p. 1507-1514, 2007.
- MOURA, B. I. D. V.; ARAÚJO, B. P. L. D.; SÁ, R. D.; RANDAU, K. P. Pharmacobotanical study of Manilkara zapota (L.) P. Royen (Sapotaceae). **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 55, n. 1, e17227, 2019.
- MUÑIZ-BECERÁ, S.; MÉNDEZ-LAGUNAS, L. L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J. Solute transfer in osmotic dehydration of vegetable foods: a review. **Journal of food science**, v. 82, n. 10, p. 2251-2259, 2017.
- NUÑEZ-MANCILLA, Y.; PEREZ-WON, M.; VEGA-GÁLVEZ, A.; ARIAS, V.; TABILO-MUNIZAGA, G.; BRIONES-LABARCA, V.; LEMUS-MONDACA, R.; SCALA K. Modeling mass transfer during osmotic dehydration of strawberries under high hydrostatic pressure conditions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 3, p. 338–343, 2011.
- OAK, S. J.; JHA, R. The effects of probiotics in lactose intolerance: A systematic review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 59, n. 11, p. 1675-1683, 2019.
- OLIVEIRA, V. S.; AFONSO M. R. A.; COSTA, J. M. C. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 342-348, 2011.
- OSAE, R.; ESSILFIE, G.; ALOLGA, R. N.; AKABA, S.; SONG, X.; OWUSU-ANSAH, P.; ZHOU, C. Application of non-thermal pretreatment techniques on agricultural products prior to drying: A review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 6, p. 2585-2599, 2020.
- OSORIO, C.; FRANCO, M. S.; CASTAÑO, M. P.; GONZÁLEZ-MIRET, M. L.; HEREDIA, F. J.; MORALES, A. L. Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, n. 3, p. 353–359, 2007.
- PAIXÃO, M.V. S. et al. Overcoming dormancy and storage of sapoti seeds. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 32, n. 2, p. 160-164, 2020.

PALERMO, J. R. Análise sensorial: fundamentos e métodos. **São Paulo: Atheneu**, 2015.

PANDISELVAM, R.; TAK, Y.; OLUM, E.; SUJAYASREE, O. J.; TEKGÜL, Y.; KOÇ, G. Ç.; KAUR, M.; NAYI, P.; KOTHAKOTA, A.; KUMAR, M. Advanced osmotic dehydration techniques combined with emerging drying methods for sustainable food production: Impact on bioactive components, texture, color, and sensory properties of food. **Journal of Texture Studies**, v. 01, n. 01, p. 1 – 26, 2021.

PHISUT, N. MiniReview: Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 1, p. 7-18, 2012.

PRITHANI, R.; DASH, K. K. Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 64, n. 1, p. 102407, 2020.

QIU, L.; ZHANG, M.; TANG, J.; ADHIKARI, B.; CAO, P. Innovative technologies for producing and preserving intermediate moisture foods: A review. **Food research international**, v. 116, n. 1, p. 90-102, 2019.

RAJANYA, D.; SINGH, G. Recent trends in osmotic dehydration of fruits: a review. **Plant Archives**, v. 21, n. 1, p. 98-103, 2021.

RAMYA, V.; JAIN, N. K. A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: An integrated approach. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 3, p. e12440, 2017.

RANADHEERA, C. S.; NAUMOVSKI, N.; AJLOUNI, S. Non-bovine milk products as emerging probiotic carriers: Recent developments and innovations. **Current Opinion in Food Science**, v. 22, p. 109-114, 2018.

RASCÓN, M. P.; HUERTA-VERA, K.; PASCUAL-PINEDA, L. A.; CONTRERAS-OLIVA; A.; FLORES-ANDRADE, E.; CASTILLO-MORALES, M.; GONZÁLEZ-MORALES, I. Osmotic dehydration assisted impregnation of *Lactobacillus rhamnosus* in banana and effect of water activity on the storage stability of probiotic in the freeze-dried product. **LWT**, v. 92, p. 490- 496, 2018.

RIBEIRO, C.; FREIXO, R.; SILVA, J.; GIBBS, P.; MORAIS, A. M.; TEIXEIRA, P. Dried fruit matrices incorporated with a probiotic strain of *Lactobacillus plantarum*. **International Journal of Food Studies**, v. 3, n. 01, p. 69–73, 2014.

RINALDI, E.; CONSONNI, A.; GUIDESI, E.; ELLI, M.; MANTEGAZZA, R.; BAGGI, F. Gut microbiota and probiotics: novel immune system modulators in myasthenia gravis? **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1413, n. 1, p. 49 - 58, 2018.

ROMERO, I. P.; GÓMEZ, M. J. R.; IÑIGUEZ, F. M. S.; MAGRO, P. C. Optimization of the osmotic dehydration process of plums (*Prunus Salicina* Lindl.) in solutions enriched with inulin, using response surface methodology. **LWT**, v. 157, n. 1, p. 113092, 2022.

SABLANI, S.; RAHMAN M. S. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. **Food Research International**, v. 36, n. 1, p. 65–71, 2003.

SANKARAPANDIAN, V.; VENMATHI MARAN, B.A.; RAJENDRAN, R.L.; JOGALEKAR, M.P.; GURUNAGARAJAN, S.; KRISHNAMOORTHY R.; GANGADARAN, P.; AHN, B.C. An Update on the Effectiveness of Probiotics in the Prevention and Treatment of Cancer. **Life**, v. 12, n.1., p. 59, 2022.

SANTOS, T. R. J.; DE AQUINO SANTANA, L. C. L. Antimicrobial potential of exotic fruits residues. **South African Journal of Botany**, v. 124, n. 1, p. 338-344, 2019.

SARAO, L. K.; ARORA, M. Probiotics, prebiotics, and microencapsulation: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 57, n. 2, p. 344-371, 2017.

SAREBAN, M.; ABBASI SOURAKI, B. Anisotropic diffusion during osmotic dehydration of celery stalks in salt solution. **Food Bioprod. Process**, v. 98, n. 1, p. 161–172, 2016.

SERENO, A.M.; HUBINGER, M.D.; COMESAÑA, J.F.; CORRA, A. Prediction of water activity of osmotic solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 103-114, 2001.

SHARIF, M. K. et al. Sensory evaluation and consumer acceptability. **Handbook of food science and technology**, p. 361-386, 2017.

SHARIFI, M.; MORIDNIA, A.; MORTAZAVI, D.; SALEHI, M.; BAGHERI, M.; SHEIKHI, A. Kefir: a powerful probiotics with anticancer properties. **Medical Oncology**, v. 34, n. 183, p. 1 – 7, 2017.

SHETE, Y.V.; CHAVAN, S.M.; CHAMPAWAT, P.S.; JAIN, S.K. Reviews on osmotic dehydration of fruits and vegetables. **J Pharmacogn Phytochem**, v. 7, n. 2, p. 1964-1969, 2018.

SHI, X. Q.; FITO, P. Vacuum osmotic dehydration of fruits. **Drying Technology**, v. 11, n. 6, p. 445-454, 1993.

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

SILVA JUNIOR, J. F. D.; BEZERRA, J. E. F.; LEDERMAN, I. E.; MOURA, R. J. M. D. O sapotizeiro no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n.1, p. 86-99, 2014.

SILVA, M. A. DA C.; SILVA, Z. E. DA; MARIANI, V. C.; DARCHE, S. Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. **LWT - Food Science and Technology**, v. 45, n. 02, p. 246-252, 2012.

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

SOARES, M. B. et al. The resistance of Bacillus, Bifidobacterium, and Lactobacillus strains with claimed probiotic properties in different food matrices exposed to simulated gastrointestinal tract conditions. **Food research international**, v. 125, p. 108542, 2019.

SONG, C.; LI, Z.; WU, T.; RAGHAVAN, G. S. V.; MA, X.; CHEN, H. Mass transfer during osmotic dehydration and its effect on anthocyanin retention of microwave vacuum-dried blackberries. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 1, p. 102-109, 2020.

TERPOU A.; PAPADAKI A.; LAPPA I. K.; KACHRIMANIDOU V.; BOSNEA L. A.; KOPSAHELIS N. Probiotics in Food Systems: Significance and Emerging Strategies Towards Improved Viability and Delivery of Enhanced Beneficial Value. **Nutrients**. v. 11, n. 7, p. 1591, 2019.

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

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; HUBINGER, M. D. Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 5, p. 509-517, 2007.

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v. 26, n. 1, p. 59-68, 1993.

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

UEKANE, T. M., NICLOTTI, L., GRIGLIONE, A., BIZZO, H. R., RUBIOLO, P., BICCHI, C., ROCHA-LEÃO M. H. M.; REZENDE, C. M. Studies on the volatile fraction composition of three native Amazonian-Brazilian fruits: Murici (*Byrsonima crassifolia* L., Malpighiaceae), bacuri (*Platonia insignis* M., Clusiaceae), and sapodilla (*Manilkara sapota* L., Sapotaceae). **Food Chemistry**, v. 219, n. 01, p. 13 – 22, 2017.

VALERIO, F.; VOLPE, M. G.; SANTAGATA, G.; BOSCAINO, F.; BARBARISI, C.; DI BIASE, M.; LAVERMICOCCA, P. The viability of probiotic *Lactobacillus paracasei* IMPC2.1 coating on apple slices during dehydration and simulated gastro-intestinal digestion. **Food Bioscience**, v. 34, 100533, 2020.

VICARI, L.; GULARTE, M. A.; SANTOS, R. B. Princípios da Análise Sensorial. In: Pereira A.M.; Ávila B.P.; Souza E.J.D. de; Gualarte M.A. Descomplicando a Análise Sensorial: Grãos e Derivados. **Canoas – RS: Mérida Publishers**, 2021.

VIJAY, S.; VIKRAMAN, S.; MARY, P. R., CHAUHAN, A. S.; KAPOOR, M. Osmotic infusion of *Lactiplantibacillus plantarum* and *Lactocaseibacillus casei* in cut pineapple matrix: Optimization, survival under gastrointestinal stress, and storage stability studies. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 2, p. 1-10, 2020.

VIJAYA KUMAR, B.; VIJAYENDRA, S. V. N.; REDDY, O. V. S. Trends in dairy and non-dairy probiotic products - a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n.10, p. 6112-6124, 2015.

YADAV, A. K.; SINGH, S. V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 9, p. 1654-1673, 2014.

YAHY, E. M.; GUTIERREZ-OROZCO, F. Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits - Mangosteen to White Sapote. In **Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition**, p.351–362, 363e, 2011.

YAO M. F.; XIE J. J.; DU H. J.; MCCLEMENTS D. J.; XIAO H., LI L. J. Progress in microencapsulation of probiotics: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 2, p. 857-874, 2020.

YONG, K. Y.; SHUKKOOR, M. S. A. Manilkara Zapota: A phytochemical and pharmacological review. **Materials Today: Proceedings**, v. 29, n. 1, p. 30-33, 2020.

ZMORA, N. et al. Personalized gut mucosal colonization resistance to empiric probiotics is associated with unique host and microbiome features. **Cell**, v. 174, n. 6, p. 1388-1405. e21, 2018.

ZOLDAN, J. et al. Evaluation of viability to simulated gastrointestinal tract passage of probiotic strains and pioneer bioaccessibility analyses of antioxidants in chocolate. **Food Bioscience**, v. 52, p. 102494, 2023.

## Article

# Optimization of Osmotic Dehydration of Sapodilla (*Achras zapota* L.)

Lívia Muritiba Pereira de Lima Coimbra <sup>1,2,3,\*</sup>, Adrielle Zagnignan <sup>1,2</sup>, Paulo Victor Vieira Gomes <sup>1</sup>, Jânaira Farias Araujo <sup>1</sup>, Gabrielle Damasceno Costa dos Santos <sup>2</sup>, Rita de Cássia Mendonça de Miranda <sup>3,4</sup> , Silvana Magalhães Salgado <sup>5</sup>, Samara Alvachian Cardoso Andrade <sup>6,†</sup> and Luís Cláudio Nascimento da Silva <sup>2,3,†</sup> 

- <sup>1</sup> Departamento de Nutrição, Universidade CEUMA, São Luís 65075-120, MA, Brazil; adrielle.zagnignan@ceuma.br (A.Z.); paulo106983@ceuma.com.br (P.V.V.G.); araujo.janairafarias@gmail.com (J.F.A.)
- <sup>2</sup> Laboratório de Patogenicidade Microbiana, Universidade CEUMA, São Luís 65075-120, MA, Brazil; gabrielledamasceno.nutri@gmail.com (G.D.C.d.S.); luisclaudio.silva@ceuma.br (L.C.N.d.S.)
- <sup>3</sup> Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal (BIONORTE), Universidade Estadual do Maranhão, São Luís 65055-310, MA, Brazil; rita.miranda@ceuma.br
- <sup>4</sup> Laboratório de Microbiologia Ambiental, Universidade CEUMA, São Luís 65075-120, MA, Brazil
- <sup>5</sup> Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, Recife 50670-901, PE, Brazil; silvana.salgado@ufpe.br
- <sup>6</sup> Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife 50670-901, PE, Brazil; samaraandrade@uol.com.br
- \* Correspondence: livia004820@ceuma.com.br
- † These authors contributed equally to this work.



**Citation:** Coimbra, L.M.P.d.L.; Zagnignan, A.; Gomes, P.V.V.; Araujo, J.F.; Santos, G.D.C.d.; Miranda, R.d.C.M.d.; Salgado, S.M.; Andrade, S.A.C.; Nascimento da Silva, L.C. Optimization of Osmotic Dehydration of Sapodilla (*Achras zapota* L.). *Foods* **2022**, *11*, 794. <https://doi.org/10.3390/foods11060794>

Academic Editor: Danyang Ying

Received: 9 December 2021

Accepted: 30 December 2021

Published: 10 March 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** Sapodilla (*Achras zapota* L.) is a fruit with a great nutritional potential; however, its perishable nature is a great obstacle for commercialization/exportation. Herein, osmotic dehydration was applied to sapodilla to reduce post-harvest losses and obtain a stable product with acceptable sensorial characteristics. Initially, a 2<sup>3</sup> full-factorial design was performed to determine the effect of temperature (30–50 °C), sucrose concentration (40–60% °Brix) and immersion time (90–240 min) on the moisture loss (ML), solid gain (SG) and dehydration efficiency index (DEI). The samples with higher DEI values were subjected to sensory analysis, followed by physicochemical, microbiological and structural analyses. The temperature and the concentration of the osmotic solution had significant influence ( $p < 0.05$ ) on ML and SG, whereas DEI was significantly influenced ( $p < 0.05$ ) by the concentration of osmotic solution and the immersion time. The sample produced by osmotic dehydration using the optimized conditions (40 °C, 50 °Brix; 165 min) obtained higher scores on the sensorial attributes, greater compliance with microbiological standards and generated turgor reduction and ruptures of sapodilla cell walls.

**Keywords:** preservation of food; sapoti; sensory analysis; microscopy; loss of water

## 1. Introduction

*Achras zapota* L. (synonym of *Manilkara zapota* (L.) P.Royen) is a medium-sized ever-green species from the Sapotaceae family native to tropical areas of the Americas (from southern Mexico to parts of South America) and now also cultivated in other tropical regions throughout the world [1,2]. In Brazil, the tree is known as ‘Sapotizeiro’ and has good adaptation in the northeast region of Brazil due to appropriate soil and climate conditions [3,4]. The fruit is named as ‘sapoti’ in Brazil, and it is also known as ‘chicozapote’ or ‘sapodilla’ in other Latin countries. It has ovoid shape, brown bark and a soft pulp with sweet and slightly astringent taste [5]. The aroma of fresh fruit is typically minty, fatty/green and woody, containing at least 13 aroma-active compounds [6]. This fruit has been applied for the production of juices, wine, ice-creams, jam, cookies and other food formulations [5,7–9].

The fruits are sources of carbohydrates, pro-vitamins A, vitamin C and B complexes and minerals such as calcium, phosphorus and iron. These fruits have an average of 72 to 78% humidity and a high percentage of post-harvest losses [3,10,11]. Although sapodilla has a great nutritional potential, its perishable nature is a great obstacle for commercialization/exportation: in natural conditions, it can be stored for up to 15 days [12]. In this sense, few studies have been performed in order to extend the shelf-life of this fruit [13–18].

The industrial processes aiming to reduce the water activity appear as an alternative to solve and/or minimize the problems of post-harvest losses of sapodilla and, consequently, to facilitate its commercialization. In this context, osmotic dehydration is an alternative to reduce the initial moisture of the fruit by an average of 20% to 50% [19]. Osmotic dehydration has mainly been used as a pre-treatment for some conventional processes, such as air drying. The process of osmotic dehydration consists of the immersion of food in a concentrated solution, which results in the water leaching from the fruit into the solution, the migration of solutes from the solution to the fruit and the leaching of natural solutes of the food fabric (sugars, organic acids, minerals and vitamins) to the osmotic solution. The latter is not significant in quantitative terms [3,20–22].

Some advantages of osmotic dehydration over other drying processes can be cited, such as the greater preservation of natural color and flavor, the inhibition of enzymatic browning during subsequent drying, low energy consumption and improved final product quality [23]. The most commonly used osmotic agents are glucose, sodium chloride, sucrose, glycerol, sorbitol, corn syrup, glucose syrup and fructooligosaccharides. These must be carefully selected for different foods; for example, sodium chloride is used for processing vegetables, whereas sucrose has commonly been used as an osmotic agent for fruits [24].

Sucrose is considered one of the best dehydrating agents, especially when dehydration is used as a pre-treatment for drying. In addition, the use of sucrose in fruits generates products with similar sensory characteristics between natural and dry products. In this study, sucrose was considered due to its ease of access (physical and financial) which facilitates the reproducibility of the process. In summary, sucrose is a conventional and accessible osmotic solution, from a physical and financial point of view, and has efficiently been applied for a range of products [25–28].

In view of the above, this research had the objective of obtaining osmotically dehydrated sapodilla, with a maximum loss of water and minimum gain of solutes, with good organoleptic characteristics, microbiological and structural stability.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Material

The sapodilla fruits (*Achras zapota* L.) were randomly purchased from a local supermarket in Recife, PE, Brazil. The fruits were visually selected by color (completely brown), size (mean diameter 4.6 cm), ovoid shape and an absence of physical damage. Commercial sucrose was used as the osmotic agent.

### 2.2. Osmotic Dehydration

The general aspects of raw material were visually inspected, and the samples were weighted and selected according to the degree of maturation (12 to 16 °Brix). Afterwards, the material was washed in running water and sanitized using a sodium hypochlorite solution (2.5% *w/v*) for 15 min. Subsequently, the fruits were manually peeled with a stainless-steel knife. The fruits were cut into longitudinal slices (5 × 1 × 1 cm) and the seeds were removed. The samples were subjected to a bleaching process using flowing steam (100 °C for 5 min in each side) and then immediately cooled in ice water for 5 min. After bleaching, the slices were drained on paper towels, weighed and immersed in the sucrose solution (sample/solution ratio of 1:20) at 110 rpm in a shaker (Marconi, MA-410) under predetermined temperature, time and concentration (Table 1). The excess osmotic solution was removed by absorbent paper. The samples were weighed again and dried at

60 °C ( $\pm 5$  °C) in an oven with air circulation. After 4 h, the dehydrated fruits were bagged in low-density polyethylene bags and stored at room temperature.

**Table 1.** Coded and decoded levels of independent variables.

| Variables                                     | $-\alpha$ | $-1$ | 0   | 1   | $+\alpha$ |
|-----------------------------------------------|-----------|------|-----|-----|-----------|
| Temperature (°C)                              | 30        | 34   | 40  | 46  | 50        |
| Concentration of the osmotic solution (°Brix) | 40        | 44   | 50  | 56  | 60        |
| Time of immersion (minutes)                   | 90        | 120  | 165 | 210 | 240       |

### 2.3. Experimental Design

A  $2^3$  factorial design was carried out, with 8 factorial points (levels  $\pm 1$ ), 3 central points (level 0) and 6 axial points ( $\pm \alpha$ ), totaling 17 assays. The independent variables were temperature (T; 30 °C to 50 °C), concentration of osmotic solution (C; 40 °Brix to 60 °Brix) and immersion time (t; 90 min to 240 min). The dependent variables were moisture loss (ML), solid gain (SG) and the Dehydration Efficiency Index (DEI = ML/SG).

The obtained data were adjusted to the following polynomial:

$$Y = \phi(T, C, t) = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 C + \beta_3 t + \beta_{11} T^2 + \beta_{22} C^2 + \beta_{33} t^2 + \beta_{12} TC + \beta_{13} Tt + \beta_{23} Ct \quad (1)$$

where  $\beta_n$  are the regression coefficients, Y is the response in question (ML, SG and ML/SG) and T, C and t are the independent variables (temperature, concentration of osmotic solution and immersion time, respectively). The responses of interest were thus defined:

-Moisture Loss (ML)—calculated in percentage terms, based on the initial weight of the material:

$$ML(\%) = \frac{(U_{ix}M_i - U_{fx}M_f)}{M_i} \quad (2)$$

where ML(%) is the loss of moisture in relation to initial material,  $M_i$  = is the initial moisture content of matter (%),  $U_f$  is the final moisture content of matter (%),  $M_i$  is the total initial mass of matter (%), and  $M_f$  is the total final mass of matter.

-Solid Gain (SG)—calculated through a balance of mass acquired during the processing of solids:

$$SG(\%) = \frac{(^{\circ}\text{Brix}_f M_f - ^{\circ}\text{Brix}_i M_i)}{M_i} \quad (3)$$

where SG (%) is the solid gain,  $^{\circ}\text{Brix}_i$  is the initial total soluble solids content of the material,  $^{\circ}\text{Brix}_f$  is the final content of total soluble solids of the material.

-Dehydration efficiency index (DEI): ML/SG

The experimental design was built, and the data were analyzed by a Student's *t*-test through the statistical software Statistica 6.0 at the 5% level of significance using the StatSoft Inc., Statistica: Data Analysis Software System, Version 7 (2004).

### 2.4. Analytical Methods

#### 2.4.1. Sensory Analysis

The assays with higher Dehydration Efficiency Indices (DEIs) were subjected to the acceptance analysis, using a structured nine-point hedonic scale (1 = very disagreeable, 9 = very much liked) to evaluate the attributes: aroma, color, flavor, texture and quality. The intention of purchase was evaluated by applying a 5-point hedonic scale which varied from 1 = "I would certainly not buy" to 5 = "I would certainly buy". Fifty tasters were randomly recruited among students and professors of the 'Departamento de Ciências Domésticas' (DCD/UFRPE; Recife, PE, Brazil), with the exclusion criterion of an aversion to sapodilla. Samples were randomly coded with three-digit numbers. The acceptability index (AI) for the overall quality attribute was calculated:  $AI(\%) = Y \times 100 / Z$  ( $Y$  = average score obtained for the product;  $Z$  = maximum obtained score). This study was approved by the Research Ethics Committee, through the Brazil platform (Process: 331.686). The in natura *Sapodilla*

and the sample that showed the best results in the sensory analysis were submitted to the analyses described in Sections 2.4.2–2.4.4. All analyses were performed in triplicate.

#### 2.4.2. Centesimal Composition and Physicochemical Parameters

The following analyses were performed before and after osmotic dehydration of sapodilla: soluble solids by direct reading in an ATAGO manual refractometer expressed in °Brix; weight of the samples in a semi-analytical balance of the Tecnal brand; humidity, lipids, ashes, proteins, dietary fiber and pH (AOAC, 2002); carbohydrates [29]; total caloric value (TCV) by the calculation method; and water activity (Aw) in Decagon Aqualab 4 TE equipment.

#### 2.4.3. Microbiological Analysis

The quantification of *Salmonella* sp. (CFU/25 g; method 996.08) and total coliforms at 45 °C (MPN/mL; method 991.14) was performed in triplicate [28,30].

#### 2.4.4. Structural Analysis

The images were generated with a Scanning Electron Microscope (SEM; Quanta 200 FEG). In brief, the samples were fixed using 2.5% glutaraldehyde and in 0.1 M cacodylate buffer. Subsequently, the samples were washed in 0.1 M cacodylate buffer (three times). The tissue was post-fixed in 2% osmium tetroxide and 0.1 M cacodylate buffer. The dehydration process occurred using a graded acetone series (30%, 50%, 70%, 90% and three times at 100%; each procedure lasted 10 min). At the end of this stage, the samples were dried for 1 h and 10 min at 40 °C and 80 bar. The samples were then mounted on the stubs and sprayed with gold for 80 s. After this procedure, the samples were visualized in the SEM.

#### 2.5. Analysis Statistics

All the experiments were carried out in triplicate and the results are expressed as mean values. A  $p$ -value < 0.05 was considered statistically significant. The data were analyzed using the statistical software Statistica 6.0.

### 3. Results and Discussion

In this study, a  $2^3$  factorial design approach was employed in order to optimize the process of osmotic dehydration of sapodilla. It was observed that the moisture loss (ML) was higher than the solid gain (SG) in all 17 assays (Table 2). The differences between ML and SG are due to the larger size of sucrose molecules relative to water molecules, which allows water molecules to move faster than sucrose molecules [25]. Similar results were found when the osmotic dehydration was applied for apricot (*Prunus armeniaca* L.) [31], apple cv. “Idared” [32] and acerola (*Malpighia punicifolia*) [22]. These results confirmed the main aim of osmotic dehydration, which is to achieve maximum water loss with minimum solid gain.

A regression analysis was applied to model the ML, SG and DEI values as quadratic functions of the osmotic solution concentration, immersion time and temperature. The regression coefficients for the obtained models are presented in Table 3. The statistical analysis indicated that the adjusted models were considered predictive, not having a significant lack of adjustment and with  $R^2$  values very satisfactory for all the answers. The  $R^2$  values for ML, SG and DEI were 0.982, 0.979 and 0.947, respectively. Similar results were found when studying the mass transfer kinetics of radish cylinders ( $R^2 > 0.97$ ) [33] and banana cylinders ( $R^2 > 0.98$  for ML and SG) [26].

**Table 2.** Effects of independent variables on the ML, SG and DEI of sapodilla.

| Assay | Temperature (°C) | %Sucrose | Immersion Time (Minutes) | ML    | SG    | DEI  |
|-------|------------------|----------|--------------------------|-------|-------|------|
| 1     | 34               | 44       | 120                      | 23.8  | 9.56  | 2.49 |
| 2     | 46               | 44       | 120                      | 28.23 | 8.51  | 3.32 |
| 3     | 34               | 56       | 120                      | 30.77 | 14.40 | 2.14 |
| 4     | 46               | 56       | 120                      | 34.9  | 9.10  | 3.83 |
| 5     | 34               | 44       | 210                      | 23.08 | 5.68  | 4.06 |
| 6     | 46               | 44       | 210                      | 33.19 | 15.20 | 2.18 |
| 7     | 34               | 56       | 210                      | 34.03 | 7.80  | 4.36 |
| 8     | 46               | 56       | 210                      | 45.04 | 12.10 | 3.72 |
| 9     | 40               | 50       | 165                      | 39.27 | 9.90  | 3.97 |
| 10    | 40               | 50       | 165                      | 38.93 | 10.10 | 3.85 |
| 11    | 40               | 50       | 165                      | 38.25 | 9.80  | 3.9  |
| 12    | 30               | 50       | 165                      | 28.8  | 9.27  | 3.11 |
| 13    | 50               | 50       | 165                      | 38.19 | 12.17 | 3.14 |
| 14    | 40               | 40       | 165                      | 25.61 | 10.80 | 2.37 |
| 15    | 40               | 60       | 165                      | 38.16 | 11.46 | 3.33 |
| 16    | 40               | 50       | 90                       | 31.7  | 9.80  | 3.23 |
| 17    | 40               | 50       | 240                      | 36.81 | 10.70 | 3.44 |

ML, moisture loss; SG, solid gain; DEI, Dehydration Efficiency Index.

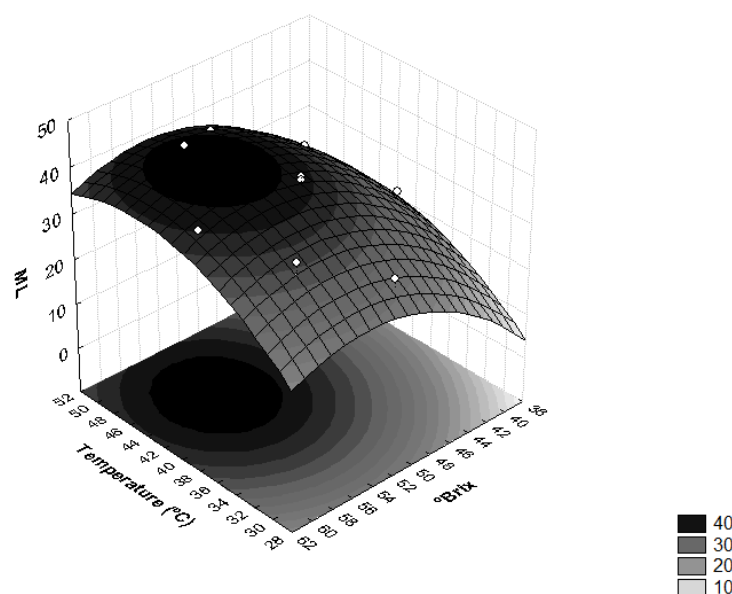
**Table 3.** Regression coefficients of the quadratic equation for ML, SG and DEI.

|              | ML      | <i>p</i> | SG      | <i>p</i> | DEI     | <i>p</i> |
|--------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| $\beta_0$    | −262.09 | 0.005    | 1.936   | 0.769    | −28.638 | 0.006    |
| $\beta_1$    | −4.334  | 0.010    | −0.134  | 0.414    | 0.531   | 0.009    |
| $\beta_{11}$ | −0.061  | 0.005    | 0.005   | 0.063    | −0.006  | 0.006    |
| $\beta_2$    | 7.582   | 0.004    | 0.978   | 0.021    | 0.537   | 0.011    |
| $\beta_{22}$ | −0.077  | 0.003    | 0.009   | 0.020    | −0.009  | 0.003    |
| $\beta_3$    | −0.091  | 0.212    | −0.225  | 0.004    | 0.084   | 0.005    |
| $\beta_{33}$ | −0.001  | 0.007    | 0.00003 | 0.901    | −0.0001 | 0.014    |
| $\beta_{12}$ | 0.002   | 0.722    | −0.033  | 0.002    | 0.007   | 0.006    |
| $\beta_{13}$ | 0.006   | 0.013    | 0.009   | 0.0004   | −0.002  | 0.001    |
| $\beta_{23}$ | 0.004   | 0.025    | −0.003  | 0.004    | 0.0008  | 0.010    |
| $R^2$        | 0.982   |          | 0.979   |          | 0.947   |          |

ML, moisture loss (%); SG, solid gain (%); DEI, Dehydration Efficiency Index. The regression coefficients represent:  $\beta_0$  = average;  $\beta_1$  = the linear term of temperature;  $\beta_{11}$  = the quadratic term of temperature;  $\beta_2$  = the linear term of osmotic solution concentration;  $\beta_{22}$  = the quadratic term of osmotic solution concentration;  $\beta_3$  = the linear term of immersion time;  $\beta_{33}$  = the quadratic term of osmotic solution concentration;  $\beta_{12}$  = term of the interaction between temperature and concentration of the osmotic solution;  $\beta_{13}$  = term of the interaction between temperature and concentration of the osmotic solution;  $\beta_{23}$  = term of the interaction between osmotic solution concentration and immersion time;  $R^2$  = determination coefficient.

Figure 1 shows the influence of sucrose concentration and temperature on moisture loss. This verified that the interaction between the concentration of the osmotic solution and temperature induced significant effects on the ML levels. Higher moisture losses were obtained when the osmotic solution had concentrations higher than 50 °Brix and the operating temperatures were higher than 40 °C.

These results can be explained by the increase in the osmotic pressure gradient, as well as by the use of high temperatures which cause a decrease in the viscosity of the osmotic medium and lead to swelling, plasticization and destruction of the cell membrane structure, i.e., increased permeability of the membrane, which, in turn, favors water loss [22,26]. Similar results were obtained with the osmotic dehydration of apricots [31], where the use of higher concentrations of sucrose led to higher osmotic pressure gradients, resulting in higher solid gains and water loss over of the osmotic treatment period [21].

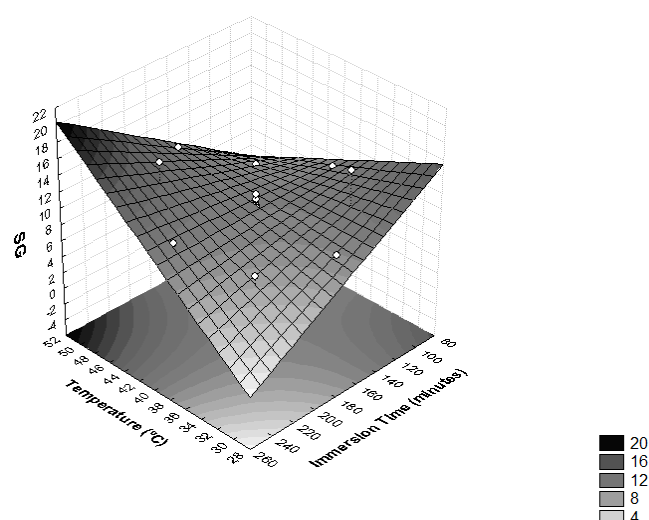


**Figure 1.** Surface response for moisture loss (ML) as a function of the concentration of sucrose solution (°Brix) and temperature (°C).

Sucrose solution was applied in the osmotic dehydration of fresh *Terung Asam* (*Solanum lasiocarpum* Dunal), and verified that the increase in sucrose concentration and immersion time accelerated ML. The authors discussed that these results are due to the osmotic gradient between the hypertonic sucrose solution and the intracellular fluid of the *T. Asam* slices [27]. This gradient promoted the diffusion of water from the samples to the osmotic medium. Therefore, accelerated water removal can be achieved by increasing the solution concentration to create a higher osmotic driving force. Similar results were found in the osmotic dehydration of ripe papaya (*Carica papaya* L.) with various sucrose concentrations (40, 50 and 60 °Brix), where greater ML and SG were archived at the highest sucrose concentrations [34]. Regarding temperature, similar results were achieved in the osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum* shum.) at temperatures from 25 to 55 °C, salt concentrations of 0–10 g/100 g and sucrose concentrations of 30–60 g/100 g [26].

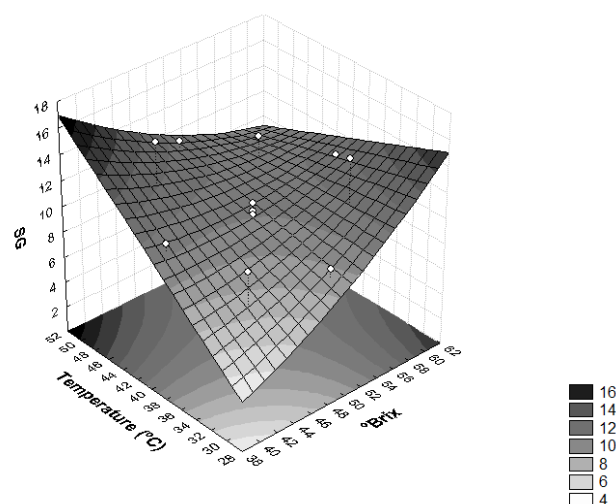
The interactions between temperature and time of immersion on SG is shown in Figure 2 and Table 3. It was observed that these variables had significant influences on SG ( $p < 0.05$ ). The highest levels of SG were obtained when the operating temperature was higher than 46 °C and immersion time was more than 210 min. Higher SG values were also achieved when temperatures lower than 34 °C were combined with immersion times under 120 min. Similar results were found in the process of the dehydration of apple cylinders using four different osmotic media (50% sucrose, 49.47% sucrose + 0.25%  $\text{CaCl}_2$ , 48.27% sucrose + 0.5%  $\text{CaCl}_2$  and 40.52% sucrose + 0.50%  $\text{CaCl}_2$  + 2%  $\text{NaCl}$ ) at temperatures of 20, 40 and 60 °C at 30, 60, 120 and 180 min intervals [35]. During the dehydration of *T. Asam*, it was also found that the SG was accelerated by the increase in temperature and immersion time, with the maximum SG recorded at a temperature of 55 °C and immersion time of 210 min [27].

The impact of temperature on moisture loss kinetics without any effect on solids gain is most obvious between 30 °C and 60 °C for vegetables and fruits [36]. It is reported that temperatures above 60 °C should be avoided because they reduce the quality of the final product, altering the structure of the cell membranes, resulting in a loss of selectivity, leading to greater incorporation of solutes in the fruit. Furthermore, elevated temperatures may induce significant changes in the texture and nutritional composition of the food as a consequence of nutrient losses from the product to the osmotic solution [26].



**Figure 2.** Surface response for solid gain (SG) as a function of immersion time (minutes) and temperature (°C).

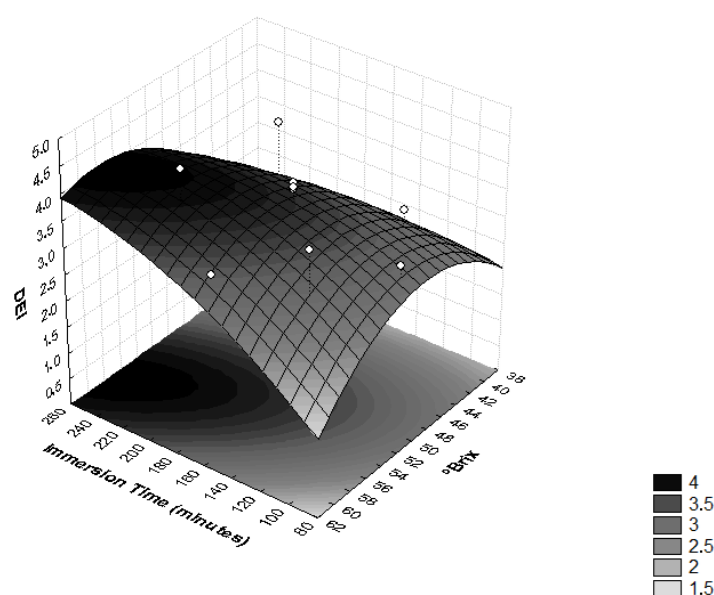
The influence of temperature and concentration of the osmotic solution on SG was also found as significant ( $p < 0.05$ ) (Figure 3). Higher temperature values ( $T > 46$  °C) and lower solution concentration values ( $<44$  °Brix) provided higher SG, whereas temperatures  $<34$  °C and concentrations of solution of sucrose  $<44$  °Brix resulted in a product with lower SG, thus leaving the final product closer to in natura conditions. The same behavior observed for sapodilla was observed for dehydrated radishes and pumpkins [37], i.e., the temperature and concentration of the osmotic solution influenced SG significantly ( $p < 0.05$ ).



**Figure 3.** Surface response for solid gain (SG) as a function of the concentration of sucrose solution (°Brix) and temperature (°C).

High SG values in the osmotic dehydration process are undesirable because they can lead to sensory changes in the product. Furthermore, when the concentration of solutes in plant tissues is high, the efficiency of dehydration is reduced due to the formation of an external barrier that hinders mass transfer [28].

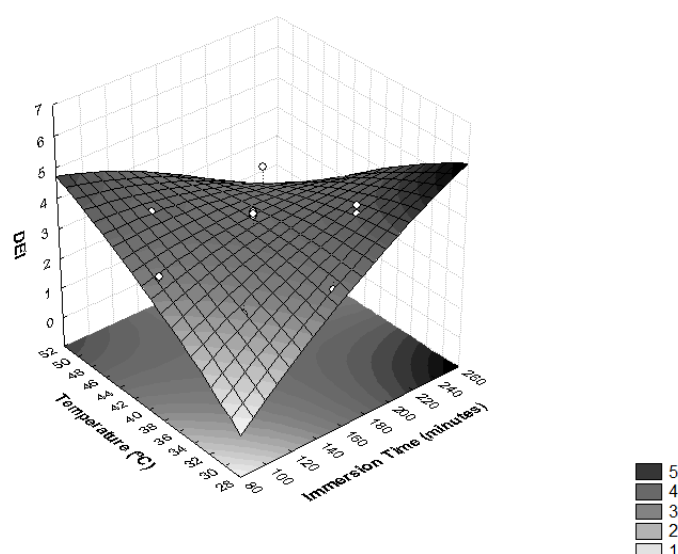
In order to evaluate the influence of osmotic dehydration parameters on the ML and SG efficiency, the DEI values were determined. In Figure 4, it is possible to observe that the interaction between the sucrose osmotic solution concentration and the immersion time significantly influenced the DEI ( $p < 0.05$ ). High values of this relationship are related to good dehydration conditions [37], because they reflect a treatment that provides high moisture loss and low solute absorption [28].



**Figure 4.** Surface response for the Dehydration Efficiency Index (DEI) as a function of immersion time (minutes) and the concentration of sucrose solution (°Brix).

An increase in the concentration of the osmotic solution implies high osmotic pressure and, consequently, higher mass transfer rates [38]. Osmotic duration is another important variable that has an unavoidable influence on the mass transfer rate. It was noted that the prolonged immersion time improved the ML [27]. During the dehydrating cylinders of pumpkins, it was observed that the DEI increased with higher immersion time, temperature and, especially, concentration of the sucrose solution [37].

As presented in Figure 5, higher values of DEI were reached with values of temperature  $>48$  °C and immersion times  $<120$  min, and temperatures  $<40$  °C and immersion times  $>165$  min. These effects were observed in assays 7, 5 and 9, where the highest values of DEI were obtained (Table 2). Similar results were seen in the osmotic dehydration process of *T. Asam* slices, where the optimal process conditions were predicted as a temperature of 38.1 °C, sucrose concentration of 55.6% and osmotic duration of 126.3 min [27].



**Figure 5.** Surface response for Dehydration Efficiency Index (DEI) as a function of immersion time (minutes) and temperature (°C).

Given the results, assays 7 and 9 obtained satisfactory ML and were chosen to carry out the sensory analysis (Table 2). Taking this criterion into account, assay 5 was eliminated.

### 3.1. Sensory Analysis

The means of acceptance scores are presented in Table 4. Assays 7 (34 °C, 56 °Brix, 210 min) and 9 (40 °C, 50 °Brix, 165 min) did not differ statistically ( $p < 0.05$ ) among the evaluated attributes, although assay 9 obtained higher averages (Table 4). In relation to the intention to buy, it was found that assay 9 also obtained a higher percentage of “certainly buy” (32%), whereas less individuals chose this for assay 7 (22%) (Table 5). Regarding the acceptability index for the overall quality attribute, similar results were found for both samples tested: 71.55% (assay 7) and 75.11% (assay 9). These values (>70%) are considered as sensorially acceptable products [39]. The different conditions of the osmotic dehydration process had a notable influence on the acceptability of the final product. In view of the results of the acceptability index and purchase intention, assay 9 was selected for microbiological, physicochemical and structural analyses.

**Table 4.** Mean acceptance scores for dehydrated sapodilla (assays 7 and 9).

| Assay | Aroma                    | Color                    | Taste                    | Texture                  | Global Quality           |
|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 7     | 6.50 ± 1.25 <sup>a</sup> | 6.30 ± 1.47 <sup>a</sup> | 6.64 ± 1.34 <sup>a</sup> | 6.42 ± 1.54 <sup>a</sup> | 6.44 ± 1.31 <sup>a</sup> |
| 9     | 6.72 ± 1.41 <sup>a</sup> | 6.58 ± 1.44 <sup>a</sup> | 6.78 ± 1.58 <sup>a</sup> | 6.82 ± 1.69 <sup>a</sup> | 6.76 ± 1.39 <sup>a</sup> |

In each column, means followed by the same superscript letter (<sup>a</sup>) do not differ significantly at the 5% level of significance by the Student's *t*-test.

**Table 5.** Purchase intention for dehydrated sapodilla (assays 7 and 9).

| Assay | I Would Certainly Not Buy | Maybe I Would Not Buy | Maybe I Would Buy/Maybe I Would Not Buy | Maybe I Would Buy | I Would Certainly Buy |
|-------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| 7     | 2%                        | 14%                   | 30%                                     | 32%               | 22%                   |
| 9     | 4%                        | 4%                    | 34%                                     | 26%               | 32%                   |

### 3.2. Microbiological Analysis

The dehydrated sapodilla (40 °C, 50 °Brix, 165 min) presented microbiological standards that met those established by Resolution RDC No. 12 of 2 January 2001, of the ‘Agência Nacional de Vigilância Sanitária’ [40] (Table 6), thus demonstrating good manufacturing practices.

**Table 6.** Microbiological analysis of osmotically dehydrated sapodilla (assay 9).

| Microbiological Analysis | Result          | Legislation             |
|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| Coliforms 45 °C/g        | <0.3 MPN        | Max. 10 <sup>2</sup> /g |
| Salmonella sp./25g       | Absence in 25 g | Absence in 25 g         |

MPN: Most probable number.

### 3.3. Centesimal Composition and Physical–Chemical Characteristics

Table 7 shows the centesimal composition of the sapodilla in natura and osmotically dehydrated. Sapodilla in natura has a similar profile to most fruits, exhibiting a high content of moisture and carbohydrates, and low contents of proteins and lipids. The contents of carbohydrates and proteins were similar (20.40 g/100 g and 0.38 g/100 g, respectively) to those values previously reported by Gonsalves [39] (20 g/100 g and 0.4 g/100 g, respectively). However, the total caloric value was higher (93.70 g/100 g) than that found by Gonsalves [39] (83 g/110 g). All parameters of the centesimal composition differed significantly ( $p < 0.05$ ) between sapodilla in natura and dehydrated, except for ash content (Table 7). In addition, the ash content of the sapodilla in natura (0.48%) was similar for the value found by Uekane et al. [11] (0.5%).

**Table 7.** Centesimal composition of in natura and osmotically dehydrated sapodilla.

| Parameter *             | Sapodilla                 |                                           |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
|                         | In Natura                 | Dehydrated Osmotically + Drying (Assay 9) |
| Humidity (g/100 g)      | 77.57 ± 0.23 <sup>a</sup> | 24.34 ± 0.20 <sup>b</sup>                 |
| Ashes (g/100 g)         | 0.48 ± 0.09 <sup>a</sup>  | 0.45 ± 0.05 <sup>a</sup>                  |
| Proteins (g/100 g)      | 0.38 ± 0.02 <sup>b</sup>  | 0.73 ± 0.02 <sup>a</sup>                  |
| Lipids (g/100 g)        | 1.18 ± 0.006 <sup>b</sup> | 2.53 ± 0.08 <sup>a</sup>                  |
| Carbohydrates (g/100 g) | 20.40 ± 0.16 <sup>b</sup> | 71.95 ± 0.14 <sup>a</sup>                 |
| Fibers (g/100 g)        | 1.06 ± 0.13 <sup>b</sup>  | 2.68 ± 0.38 <sup>a</sup>                  |
| TCV (kcal)              | 93.70 ± 0.61 <sup>b</sup> | 313.51 ± 0.81 <sup>a</sup>                |

TCV, total caloric value. \* Averages of 3 determinations. In each line, means followed by the same superscript letters (<sup>a,b</sup>) do not differ significantly at the 5% level of significance by the Student's *t*-test.

The contents of proteins, lipids, carbohydrates, fibers and TCV of the dehydrated fruit was significantly higher ( $p < 0.05$ ) than the in natura fruit, a fact explained by the dehydration of the fruit, consequently elevating the concentrations of these nutrients. This dehydration allowed significant loss of water from the fruit (53.23%) (Table 7). The water activity ( $A_w$ ), soluble solids and pH data are shown in Table 8. It is possible to observe that the soluble solid contents of the sapodilla dehydrated increased in relation to sapodilla in natura.

**Table 8.** Physicochemical characteristics of in natura and osmotically dehydrated sapodilla.

| Physicochemical characteristics * | Sapodilla                  |                                           |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|
|                                   | In Natura                  | Dehydrated Osmotically + Drying (Assay 9) |
| Water activity ( $A_w$ )          | 0.985 ± 0.001 <sup>a</sup> | 0.803 ± 0.017 <sup>b</sup>                |
| Total soluble solids (°Brix)      | 13.67 ± 0.58 <sup>b</sup>  | 19.67 ± 2.08 <sup>a</sup>                 |
| pH                                | 4.75 ± 0.05 <sup>a</sup>   | 4.71 ± 0.32 <sup>a</sup>                  |

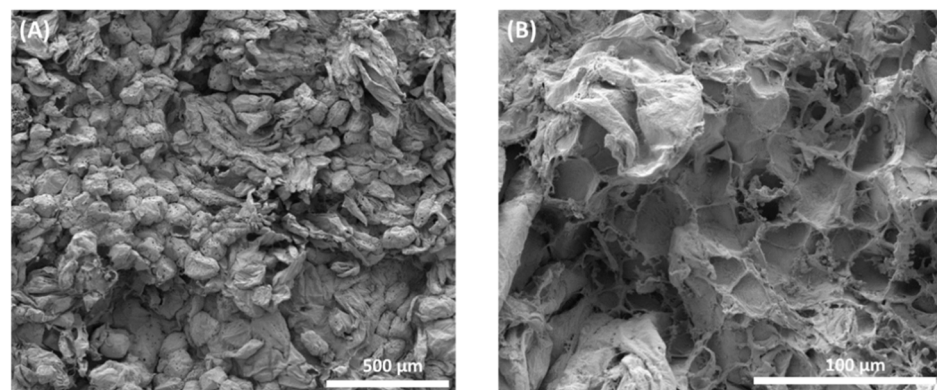
TCV, total caloric value. \* Averages of 3 determinations. In each line, means followed by the same letters (<sup>a,b</sup>) do not differ significantly at the 5% level of significance by the Student's *t*-test.

This fact was explained by the concentration of sapodilla's natural sugars and the incorporation of sucrose during the process. The pH remained practically the same after the drying process. As for  $A_w$ , the dehydrated fruit is characterized as an intermediate moisture fruit. In another study, several parameters for fresh and lyophilized sapodilla pulp values were analyzed: 15.67 °Brix and 65.50 °Brix were observed, respectively. The pH values of fresh sapodilla (5.55) and lyophilized fruit (5.58) were also similar [20]. After osmotic dehydration, the sapodilla was submitted to drying in a greenhouse, in a humidity of 24.34%. This value is within the limits established by Brazilian legislation [40].

### 3.4. Structural Analysis of Osmotically Dehydrated Fruit

Over the last few years, there have been changes in the field of osmotic processing research and, in addition to the evaluation of macroscopic aspects, it has been sought to observe the process on a microscopic scale, because view of the anatomy and physiology of plant tissue and its cells is useful for understanding mass transfer phenomena [35]. Figure 6A,B shows the cellular structures of sapodilla subjected to the osmotic dehydration process, followed by drying. In Figure 6A, it can be observed that the cells are disordered, there is no uniformity in size due to the wrinkling caused by the loss of water during osmotic dehydration and the turgor of the cells is reduced.

Plant tissues submitted to the osmotic process tended to have cells with smaller volumes and sizes than in natura tissue [41]. Sapodilla cells in natura had a mean size of 123.7 µm × 105 µm, and osmotically dehydrated sapodilla showed cells with a mean size of 121.9 µm × 97.55 µm.



**Figure 6.** Microstructural analysis of osmotically dehydrated sapodilla. (A) General microscopic aspect of dehydrated sapodilla showing disordered cells; (B) areas of cell wall rupture.

Figure 6B shows the rupture of the cell walls in a certain area, emphasizing that most of the cells remained with their structure intact. Some factors may contribute to the rupture of cell walls, such as lower cell wall resistance due to pectin solubilization, high osmotic pressure which generates changes in the distribution of pressure gradients in the tissue and causes the cells that are in direct contact with the osmotic solution to lose water and release the turgor pressure, and cell wrinkling occurs [41,42]. With the loss of water, denaturation of the protein occurs, resulting in damaged membranes. This type of damage leads to a decreased cell wall and cell membrane, and possibly cell death [39].

The microstructural differences induced by the application of osmotic dehydration in autumn olives are also shown by the images. The analysis carried out on the osmotically dehydrated fruit showed that the microstructure of the fruit became smoother, with some cracks on the surface. This observation denoted that the osmotic dehydration process affected the overall mass transport properties of the tissue. In addition, the cells shrank and some collapsed after water loss [43].

Similar structural changes were found after the dehydration of pumpkin cylinders and guava halves. In the in natura vegetables, the cells were swollen, and after dehydration, there was non-homogeneous shrinkage of these cells. In the cellular tissue of the guava, there was extensive cellular plasmolysis and the cells appeared to be deformed and wrinkled [44,45].

#### 4. Conclusions

This study reports the development of an effective process for the osmotic dehydration of sapodilla fruit. The results show that moisture loss and solid gains were influenced by the temperature and concentration of the osmotic solution. In addition, the osmotic solution concentration and immersion time had significant influence on the Dehydration Efficiency Index. Based on moisture loss, two samples were subjected to sensorial analysis. Sample 9 (submitted to a sucrose solution of 50 °Brix, under operation temperature of 40 °C by 165 min) obtained the highest scores of acceptability and purchase intention. It also showed compliance with the microbiological standards and current Brazilian legislation for dehydrated fruits. Finally, the osmotic treatment generated turgor reduction and the rupture of sapodilla cell walls. Taken together, the data obtained indicate that the studied process is a good alternative for the conservation of sapodilla.

**Author Contributions:** Conceptualization, L.M.P.d.L.C., S.M.S. and S.A.C.A.; investigation, L.M.P.d.L.C., A.Z., P.V.V.G., J.F.A., G.D.C.d.S., R.d.C.M.d.M., S.M.S., S.A.C.A. and L.C.N.d.S.; writing—original draft preparation, L.M.P.d.L.C. and A.Z.; writing—review and editing, R.d.C.M.d.M., S.M.S., S.A.C.A. and L.C.N.d.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This work was supported by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (473208/2011-3) and Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (grant number UNIVERSAL 01259/18).

**Institutional Review Board Statement:** This study was approved by the Research Ethics Committee, through the Brazil platform (Process: 331.686).

**Informed Consent Statement:** Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

**Data Availability Statement:** The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

**Conflicts of Interest:** The authors declare to have no conflict of interest.

## References

- Li, S.-X.; Zhang, X.-F.; Wang, H.-X.; Zhu, Z.-X.; Wang, H.-F. Complete plastome sequence of *Manilkara zapota* (L.) P.Royen (Sapotaceae). *Mitochondrial DNA Part B* **2019**, *4*, 3114–3115. [\[CrossRef\]](#)
- Liu, J.; Ren, S.N.; Li, K.X.; Xu, T.; Niu, Y.F.; Shi, C. The complete chloroplast genome sequence of *Manilkara zapota* (Linn.) van Royen. *Mitochondrial DNA Part B* **2019**, *4*, 2127–2128. [\[CrossRef\]](#)
- Coimbra, L.M.P.D.L.; Arruda, H.A.S.D.; Machado, E.D.C.L.; Salgado, S.M.; Albuquerque, S.S.M.C.D.; Andrade, S.A.C. Water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of sapodilla (*Achras zapota* L.). *Ciência Rural* **2017**, *47*. [\[CrossRef\]](#)
- Otero, D.; Antunes, B.; Bohmer, B.; Jansen, C.; Crizel, M.; Lorini, A.; Krumreich, F.; Zambiasi, R.C. Bioactive compounds in fruits from different regions of Brazil. *Rev. Chil. Nutr.* **2020**, *47*, 31–40. [\[CrossRef\]](#)
- Shaikh, A.E.Y.; Chakraborty, S. Optimizing the formulation for reduced-calorie and antioxidant-rich sapodilla-based spread using hybrid computational techniques and fuzzy analysis of sensory data. *J. Food Process Eng.* **2021**, *44*, e13676. [\[CrossRef\]](#)
- Lasekan, O.; Yap, S.P. Characterization of the aroma compounds in fresh and dried sapodilla (*Manilkara zapota* L.) by the application of aroma extract dilution analysis. *CyTA-J. Food* **2018**, *16*, 801–806. [\[CrossRef\]](#)
- Asadi, S.Z.; Khan, M.A.; Chamrathy, R.V. Development and quality evaluation of cookies supplemented with concentrated fiber powder from chiku (*Manilkara zapota* L.). *J. Food Sci. Technol.* **2021**, *58*, 1839–1847. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Shinwari, K.J.; Rao, P.S. Development of a reduced-calorie high pressure processed sapodilla (*Manilkara zapota* L.) jam based on rheological, textural, and sensory properties. *J. Food Sci.* **2020**, *85*, 2699–2710. [\[CrossRef\]](#)
- Jacob, N.; Sukumaran, R.K.; Prema, P. Optimization of enzymatic clarification of sapodilla juice: A statistical perspective. *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2008**, *151*, 353–363. [\[CrossRef\]](#)
- Ganjyal, G.M.; Hanna, M.A.; Devadattam, D.S.K. Processing of Sapota (Sapodilla): Drying. *J. Food Sci.* **2003**, *68*, 517–520. [\[CrossRef\]](#)
- Uekane, T.M.; Nicolotti, L.; Griglione, A.; Bizzo, H.R.; Rubiolo, P.; Bicchi, C.; Rocha-Leão, M.H.M.; Rezende, C.M. Studies on the volatile fraction composition of three native Amazonian-Brazilian fruits: Murici (*Byrsonima crassifolia* L., Malpighiaceae), bacuri (*Platonia insignis* M., Clusiaceae), and sapodilla (*Manilkara zapota* L., Sapotaceae). *Food Chem.* **2017**, *219*, 13–22. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Paixão, M.V.S.; Lopes, J.C.; Alexandre, R.S.; Schmildt, E.R.; de Carvalho, A.J.C.; Monico, A.F. Overcoming dormancy and storage of sapoti seeds. *Emir. J. Food Agric.* **2020**, *32*, 160–164. [\[CrossRef\]](#)
- Mirshekari, A.; Madani, B.; Yahia, E.M.; Golding, J.B.; Vand, S.H. Postharvest melatonin treatment reduces chilling injury in sapota fruit. *J. Sci. Food Agric.* **2020**, *100*, 1897–1903. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
- Khaliq, G.; Ramzan, M.; Baloch, A.H. Effect of Aloe vera gel coating enriched with Fagonia indica plant extract on physicochemical and antioxidant activity of sapodilla fruit during postharvest storage. *Food Chem.* **2019**, *286*, 346–353. [\[CrossRef\]](#)
- Menezes, J.; Athmaselvi, K.A. Study on effect of pectin based edible coating on the shelf life of Sapota fruits. *Biosci. Biotechnol. Res. Asia* **2016**, *13*, 1195–1199. [\[CrossRef\]](#)
- Menezes, J.; Athmaselvi, K.A. Study on Effect of Polysaccharide Based Edible Coating on the Shelf Life of Sapota Fruits Stored in Room Temperature. *Curr. Nutr. Food Sci.* **2016**, *12*, 272–278. [\[CrossRef\]](#)
- Vishwasrao, C.; Ananthanarayan, L. Delayed post-harvest ripening-associated changes in *Manilkara zapota* L. var. Kalipatti with composite edible coating. *J. Sci. Food Agric.* **2017**, *97*, 536–542. [\[CrossRef\]](#)
- Jangam, S.V.; Joshi, V.S.; Mujumdar, A.S.; Thorat, B.N. Studies on Dehydration of Sapota (*Achras zapota*). *Dry. Technol.* **2008**, *26*, 369–377. [\[CrossRef\]](#)
- Castro-Giráldez, M.; Tylewicz, U.; Fito, P.J.; Dalla Rosa, M.; Fito, P. Analysis of chemical and structural changes in kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward) through the osmotic dehydration. *J. Food Eng.* **2011**, *105*, 599–608. [\[CrossRef\]](#)
- Fernandes, F.A.N.; Rodrigues, S.; Gaspareto, O.C.P.; Oliveira, E.L. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. *Food Res. Int.* **2006**, *39*, 492–498. [\[CrossRef\]](#)
- Torreggiani, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Res. Int.* **1993**, *26*, 59–68. [\[CrossRef\]](#)
- Da Conceição Silva, M.A.; da Silva, Z.E.; Mariani, V.C.; Darche, S. Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. *LWT-Food Sci. Technol.* **2012**, *45*, 246–252. [\[CrossRef\]](#)
- Song, C.; Ma, X.; Li, Z.; Wu, T.; Raghavan, G.V.; Chen, H. Mass transfer during osmotic dehydration and its effect on anthocyanin retention of microwave vacuum-dried blackberries. *J. Sci. Food Agric.* **2020**, *100*, 102–109. [\[CrossRef\]](#)
- Qiu, L.; Zhang, M.; Tang, J.; Adhikari, B.; Cao, P. Innovative technologies for producing and preserving intermediate moisture foods: A review. *Food Res. Int.* **2019**, *116*, 90–102. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

25. Zou, K.; Teng, J.; Huang, L.; Dai, X.; Wei, B. Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying. *LWT-Food Sci. Technol.* **2013**, *51*, 253–259. [\[CrossRef\]](#)
26. Mercali, G.D.; Ferreira Marczak, L.D.; Tessaro, I.C.; Zapata Noreña, C.P. Evaluation of water, sucrose and NaCl effective diffusivities during osmotic dehydration of banana (*Musa sapientum*, shum.). *LWT-Food Sci. Technol.* **2011**, *44*, 82–91. [\[CrossRef\]](#)
27. Chiu, M.T.; Tham, H.J.; Lee, J.S. Optimization of osmotic dehydration of Terung Asam (*Solanum lasiocarpum* Dunal). *J. Food Sci. Technol.* **2017**, *54*, 3327–3337. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
28. De Siqueira, L.P.; Sarubbo, L.A.; Shinohara, N.K.S.; Valencia, M.S.; Cortez, N.M.S.; Andrade, S.A.C. Optimization of the osmotic dehydration of ginger. *Ciência Rural* **2019**, *49*. [\[CrossRef\]](#)
29. Ascar, J.M. Análise percentual. In *Alimentos: Aspectos Bromatológicos e Legais*; Unisinos Editora: São Leopoldo, Brazil, 1985; Volume 1.
30. Feldsine, P.; Abeyta, C.; Andrews, W.H. AOAC INTERNATIONAL Methods Committee Guidelines for Validation of Qualitative and Quantitative Food Microbiological Official Methods of Analysis. *J. AOAC Int.* **2002**, *85*, 1187–1200. [\[CrossRef\]](#)
31. Ispir, A.; Toğrul, I.T. Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chem. Eng. Res. Des.* **2009**, *87*, 166–180. [\[CrossRef\]](#)
32. Matusek, A.; Czukur, B.; Merész, P. Comparison of sucrose and fructo-oligosaccharides as osmotic agents in apple. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **2008**, *9*, 365–373. [\[CrossRef\]](#)
33. Xu, B.; Zhang, M.; Bhandari, B.; Cheng, X. Influence of Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration and Freezing on the Water State, Cell Structure, and Quality of Radish (*Raphanus sativus* L.) Cylinders. *Dry. Technol.* **2014**, *32*, 1803–1811. [\[CrossRef\]](#)
34. Islam, M.Z.; Das, S.; Monalisa, K.; Sayem, A.S.M. Influence of Osmotic Dehydration on Mass Transfer Kinetics and Quality Retention of Ripe Papaya (*Carica papaya* L.) during Drying. *AgriEngineering* **2019**, *1*, 220–234. [\[CrossRef\]](#)
35. Mavroudis, N.E.; Gidley, M.J.; Sjöholm, I. Osmotic processing: Effects of osmotic medium composition on the kinetics and texture of apple tissue. *Food Res. Int.* **2012**, *48*, 839–847. [\[CrossRef\]](#)
36. Acevedo Correa, D.; Castillo, P.M.; Martelo, R.J. Evaluation of Mass Transfer during the Osmotic Dehydration of Pumpkin Slices (*Sicana odorifera* naud). *Contemp. Eng. Sci.* **2018**, *11*, 2257. [\[CrossRef\]](#)
37. Abraão, A.S.; Lemos, A.M.; Vilela, A.; Sousa, J.M.; Nunes, F.M. Influence of osmotic dehydration process parameters on the quality of candied pumpkins. *Food Bioprod. Process.* **2013**, *91*, 481–494. [\[CrossRef\]](#)
38. Silva, K.S.; Fernandes, M.A.; Mauro, M.A. Osmotic Dehydration of Pineapple with Impregnation of Sucrose, Calcium, and Ascorbic Acid. *Food Bioprocess Technol.* **2014**, *7*, 385–397. [\[CrossRef\]](#)
39. Derossi, A.; De Pilli, T.; Severini, C.; McCarthy, M.J. Mass transfer during osmotic dehydration of apples. *J. Food Eng.* **2008**, *86*, 519–528. [\[CrossRef\]](#)
40. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Resolução-Rdc Nº 12, de 2 de Janeiro de 2001*; Agência Nacional de Vigilância Sanitária: Brasília, Brazil, 2001.
41. Lewicki, P.P.; Porzecka-Pawlak, R. Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. *J. Food Eng.* **2005**, *66*, 43–50. [\[CrossRef\]](#)
42. Fernandes, F.A.N.; Gallão, M.I.; Rodrigues, S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT-Food Sci. Technol.* **2008**, *41*, 604–610. [\[CrossRef\]](#)
43. Ghellam, M.; Zannou, O.; Pashazadeh, H.; Galanakis, C.M.; Aldawoud, T.M.S.; Ibrahim, S.A.; Koca, I. Optimization of Osmotic Dehydration of Autumn Olive Berries Using Response Surface Methodology. *Foods* **2021**, *10*, 1075. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
44. Pereira, L.M.; Carmello-Guerreiro, S.M.; Hubinger, M.D. Microscopic features, mechanical and thermal properties of osmotically dehydrated guavas. *LWT-Food Sci. Technol.* **2009**, *42*, 378–384. [\[CrossRef\]](#)
45. Mayor, L.; Pissarra, J.; Sereno, A.M. Microstructural changes during osmotic dehydration of parenchymatic pumpkin tissue. *J. Food Eng.* **2008**, *85*, 326–339. [\[CrossRef\]](#)

# EVALUATION OF *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271 SURVIVAL IN OSMOTICALLY DEHYDRATED SAPODILLA (*Achras zapota* L.) SLICES

AVALIAÇÃO DA SOBREVIVÊNCIA DE *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271 EM FATIAS DE SAPOTI (*Achras zapota* L.) DESIDRATADAS OSMOTICAMENTE

DOI: <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v11.e3.a2023.pp2875-2883> Recebido em: 29.06.2023 | Aceito em: 12.07.2023

**Lívia Muritiba Pereira de Lima Coimbra<sup>a</sup>, Gabrielle Damasceno Costa dos Santos<sup>a</sup>, Paulo Victor Vieira Gomes<sup>a</sup>, Jânaira Farias Araujo<sup>a</sup>, Adrielle Zagmignan<sup>a</sup>, Samara Alvachian Cardoso Andrade<sup>b</sup>, Luís Cláudio Nascimento da Silva<sup>a</sup>**

**Universidade CEUMA<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Pernambuco<sup>b</sup>  
\*E-mail: [livia004820@ceuma.com.br](mailto:livia004820@ceuma.com.br)**

## ABSTRACT

Sapodilla (*Achras zapota* L.) is a very perishable fruit rich in carbohydrates, vitamins, and minerals. The process of osmotic dehydration (OD) was applied to reduce the initial moisture of sapodilla and increase its shelf life. Dehydrated fruits have been pointed as interesting matrices to incorporate probiotics. The present study aims to evaluate the survival of *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271, a strain with probiotic potential, in osmotically dehydrated sapodilla (*Achras zapota* L.) during storage and under gastrointestinal stress. The incorporation of *L. fermentum* ATCC 23271 was carried out during the process of osmotic dehydration (OD) of sapodilla slices under predetermined temperature, time, and sucrose solution concentration (40 °C, 165 min, 50 °Brix). After the DO, the survival of the microorganism during storage (0, 7, 14 and 28 days) at 4 °C was analyzed and a simulation of rapid digestion in the gastrointestinal tract (2 h) of the stored samples was carried out. *L. fermentum* ATCC 23271 resisted the DO process with a population of 10<sup>9</sup> CFU/g even after 14 days of storage. In the following weeks, the population reached 10<sup>8</sup> CFU/g (p<0.01). Furthermore, *L. fermentum* ATCC 23271 survived the simulated passage through the gastrointestinal tract, with values greater than 10<sup>8</sup> CFU/g for samples stored for up to 21 days. Taken together, the results demonstrate that *L. fermentum* ATCC 23271 is a strain capable of resisting the DO process, making osmotically dehydrated sapodilla slices a potential probiotic product.

**Keywords:** probiotic; storage; gastrointestinal tract.

## RESUMO

O sapoti (*Achras zapota* L.) é uma fruta muito perecível, rica em carboidratos, vitaminas e minerais. O processo de desidratação osmótica (DO) foi aplicado para reduzir a umidade inicial do sapoti e aumentar sua vida útil. Frutas desidratadas têm sido apontadas como matrizes interessantes para incorporação de probióticos. O presente estudo tem como objetivo avaliar a sobrevivência de *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271, cepa com potencial probiótico, em sapoti (*Achras zapota* L.) osmoticamente desidratado durante armazenamento e sob estresse gastrointestinal. A incorporação de *L. fermentum* ATCC 23271 foi realizada durante o processo de desidratação osmótica (DO) de fatias de sapoti sob temperatura, tempo e concentração de solução de sacarose pré-determinados (40 °C, 165 min, 50 °Brix). Após a DO, foi analisada a sobrevivência do microrganismo durante o armazenamento (0, 7, 14 e 28 dias) a 4 °C e realizada uma simulação de digestão rápida no trato gastrointestinal (2 h) das amostras armazenadas. *L. fermentum* ATCC 23271 resistiu ao processo de DO com população de 10<sup>9</sup> UFC/g mesmo após 14 dias de armazenamento. Nas semanas seguintes, a população atingiu 10<sup>8</sup> UFC/g (p<0,01). Além disso, *L. fermentum* ATCC 23271 sobreviveu à passagem simulada pelo trato gastrointestinal, com valores superiores a 10<sup>8</sup> UFC/g para amostras armazenadas por até 21 dias. Em conjunto, os resultados demonstram que *L. fermentum* ATCC 23271 é uma cepa capaz de resistir ao processo de DO, tornando as fatias de sapoti osmoticamente desidratadas um potencial produto probiótico.

**Palavras-chave:** probiótico; armazenar; trato gastrointestinal.

## INTRODUCTION

Probiotics are live microorganisms that, when administered in adequate amounts, confer health benefits on the host and have been associated with improved digestive health and a strengthened immune system (BODKE; JOGDAND, 2022; PRAMANIK; VENKATRAMAN; KARTHIK; VAIDYANATHAN, 2023; VERA-SANTANDER; HERNÁNDEZ-FIGUEROA; JIMÉNEZ-MUNGUÍA; MANI-LÓPEZ; LÓPEZ-MALO, 2023). They are widely found as dietary supplements and functional foods, especially in dairy food products (GAO *et al.*, 2021; GREEN; ARORA; PRAKASH, 2020; WANG; WEN; TANG; QU; RAO, 2023).

Non-dairy probiotic food products represent an emerging group of functional foods due to the growing number of individuals with dairy food restrictions (due to lactose intolerance or milk protein allergy), vegans, and vegetarians (ASPRI; PAPADEMÁS; TSALTAS, 2020; KUMAR, D. *et al.*, 2022; KUMAR, S. *et al.*, 2022; MIN; BUNT; MASON; HUSSAIN, 2019). Fruits are reservoirs of many nutritionally important compounds, such as vitamins, minerals, dietary fiber, and sugars (mainly fructose, glucose, and sucrose), in addition to their antioxidant capacity and other functional properties. Taken together, these characteristics make fruits suitable matrices for incorporating and stabilizing the growth of probiotics (BUSTOS; FONT; TARANTO, 2023; GUIMARÃES *et al.*, 2020).

Nevertheless, several challenges are found in the development of non-dairy probiotics products, including low pH or high-water activity (KUMAR, S. *et al.*, 2022; MIN; BUNT; MASON; HUSSAIN, 2019). In this context, osmotic dehydration (OD) has been pointed as an interesting alternative to reduce the initial moisture of the fruit, allowing the efficient incorporation of probiotics into the fruit matrix (BUSTOS; FONT; TARANTO, 2023; RASCÓN *et al.*, 2018; VIJAY; VIKRAMAN; MARY; CHAUHAN; KAPOOR, 2021). OD is a process of immersing food in a concentrated solution (e.g., sugar, salt, or an active physiological component) for a specified time and temperature, allowing spontaneous migration of water from the food tissues into the osmotic solution while the solids migrate from the solution towards the surface and interior of the biological material (KAUR; SINGH; ZALPOURI; SINGH, 2022; PANDISELVAM *et al.*, 2022; RASCÓN *et al.*, 2018).

The OD process using sucrose was effectively

applied in Sapodilla (*Achras zapota* L.), a very perishable fruit that is rich in carbohydrates, vitamins, and minerals (COIMBRA *et al.*, 2017, 2022). The OD process was optimized for Sapodilla evaluating the effects of different temperature values (30–50 °C), sucrose concentration (40–60% °Brix) and immersion time (90–240 min). The sample with highest scores of acceptability and purchase intention (sample 9) was obtained using sucrose solution at 50 °Brix, under an operation temperature of 40 °C and immersion for 165 min (COIMBRA *et al.*, 2022).

The development of sapodilla as a probiotic carrier by osmotic dehydration using sucrose, along with studies on the stability of the infused probiotic under gastrointestinal stress and during storage have yet to be explored. The present study aimed to evaluate the incorporation of *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271 in osmotically dehydrated sapodilla and its viability during storage and under simulation of digestion in the gastrointestinal tract.

## MATERIAL AND METHODS

### Material

Sapodilla fruits were randomly purchased from a local supermarket in São Luís, MA, Brazil. The fruits were visually selected by color (completely brown), size (average diameter of 4.6 cm), ovoid shape and absence of physical damage. Commercial sucrose was used as an osmotic agent. The culture of *L. fermentum* ATCC 23271 is kept under refrigeration (–80°C) and was reactivated in Man, Rogosa and Sharpe Agar (MRS) (Bio Labor) at 37 °C for 24 h.

### Sapodilla sample preparation

The general aspects of the raw material were visually inspected, and the samples were weighed and selected according to the degree of maturation (12 to 16°Brix). Then, the material was washed in running water and sanitized with sodium hypochlorite solution (2.5% w/v) for 15 min. Subsequently, the fruits were manually peeled with a stainless steel knife. The fruits were cut into longitudinal slices (5 × 1 × 1 cm) and the seeds were removed. The samples were subjected to a bleaching process using a steam flow (100°C for 5 min on each side) and immediately cooled in ice water for 5 min. After blanching, the slices were drained on paper towels.

## Osmotic dehydration with *L. fermentum* ATCC 23271

The impregnation of the probiotic occurred during the OD (EMSER; BARBOSA; TEIXEIRA; BERNARDO DE MORAIS, 2017). *L. fermentum* ATCC 23271 was cultivated in MRS broth at 37 °C. After 24h, samples (0.1 mL) were transferred to MRS broth (1:100) and incubated at 37 °C for 24h to reach the stationary phase. The probiotic culture was then centrifuged, the supernatant was discarded, and the cells were washed twice in sterile PBS (phosphate buffered saline). Cells were resuspended in 10 mL of sterile osmotic solution (50 °Brix) to obtain an optical density of 1.0 at 600 nm. Sapodilla slices were immersed in a sucrose solution (sample/solution ratio of 1:20) containing *L. fermentum* ATCC 23271 at 110 rpm in a shaker (Marconi, MA-410) at 40 °C during 165 min (COIMBRA *et al.*, 2022). After, a sapodilla slice (about 1 g) was washed in sterile deionized water, gently dried and added to PBS (9 mL). These sample was serially diluted (1:10), plated on MRS agar and cultivated at 37°C for 24 h. The results were expressed as colony-forming units per gram (CFU/g).

## Viability under storage

Sapodilla samples (6 g) were stored in individual Petri dishes sealed with sealed with parafilm at 4°C for 28 days. The bacterial load was determined after 0, 7, 14 and 28 days, as described in 2.3.

## Survival under gastrointestinal tract conditions

Each stored sample was submitted to simulated gastric and enteric conditions. For this, a sapodilla slice

(approximately 1 g) from each sample was triturated in a stomacher for 120 seconds. In the simulated stomach assay, the samples were added to 49 mL of buffered peptone water (Merck) adjusted to pH 3.0 with hydrochloric acid (1 M HCl, Merck). In the simulated enteric assay, a sterile solution of bile salts was added (final concentration of 0.3% (w/v), Pronadisa), after increasing the pH from 3.0 to 7.0 with a sterile solution of sodium hydroxide (1 M NaOH, Pronalab) (BARBOSA; BORGES; TEIXEIRA, 2015). In both assays, samples were taken at time 0 (inoculation time) and after 30 min, 60 min and 120 min. Bacterial viability was performed as described above.

## Statistical analysis

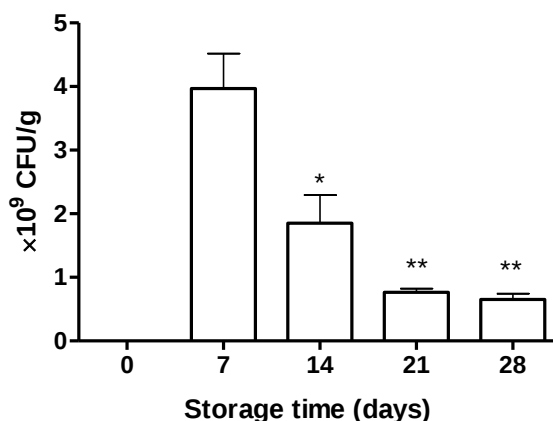
The data obtained were analyzed using GraphPad Prism software version 8.0. A p-value < 0.05 was considered statistically significant.

## RESULTS

### Viability of *L. fermentum* ATCC 23271 in osmotically dehydrated sapodilla

The first step of this work was to evaluate the viability of *L. fermentum* ATCC 23271 incorporated into sapodilla during the osmotic dehydration process. *L. fermentum* ATCC 23271 resisted the OD process presenting  $4.17 \pm 0.29 \times 10^9$  CFU/g. This population remained stable in the first week ( $3.97 \pm 0.55 \times 10^9$  CFU/g;  $p > 0.05$ ) with a slightly decreased in the second week ( $1.85 \pm 0.44 \times 10^9$  CFU/g;  $p < 0.05$ ) (Figure 1). In the following weeks, the population reached  $10^8$  CFU/g ( $p < 0.01$ ).

**Figure 1.** Survival of *L. fermentum* ATCC 23271 in dehydrated sapodilla slices during storage at 4 °C. Statistical differences in relation to the first day of storage: \* $p < 0.05$ ; \* $p < 0.01$ .

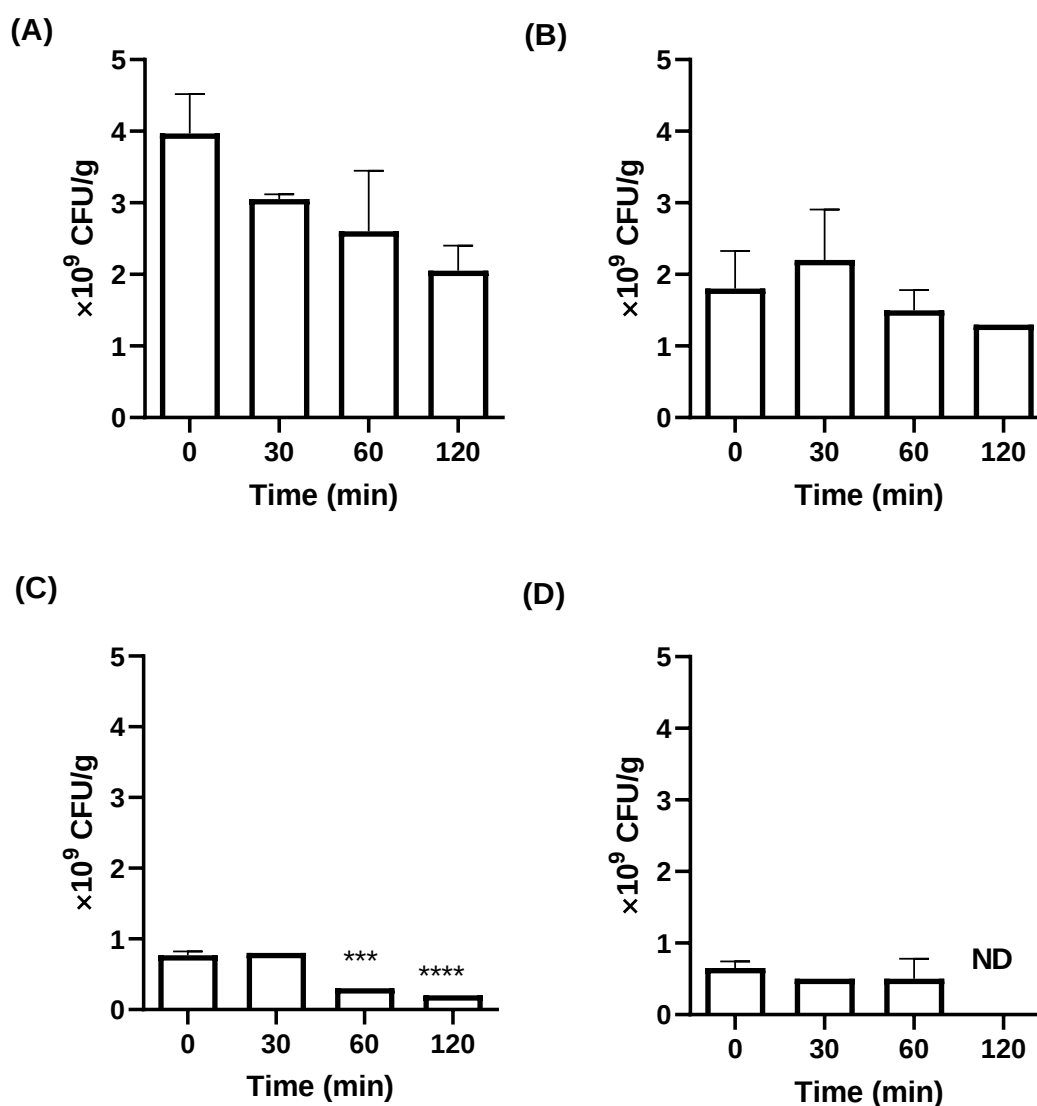


## Viability of *L. fermentum* ATCC 23271 in osmotically dehydrated sapodilla under simulated gastrointestinal conditions

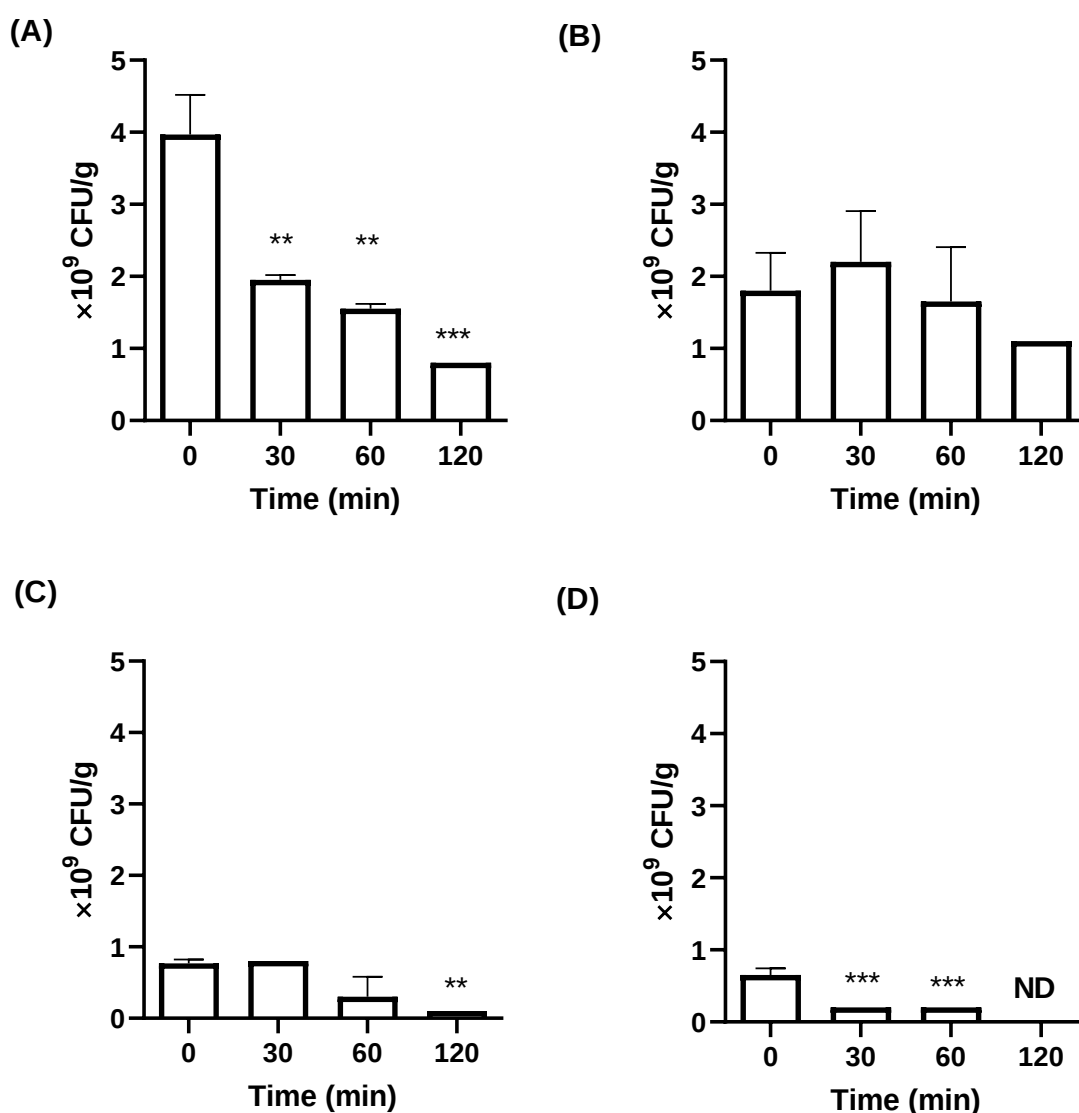
Following, the viability of *L. fermentum* ATCC 23271 in stored samples was evaluated after simulated gastrointestinal conditions (Figures 2 and 3). In the sample stored for 7 days, *L. fermentum* ATCC 23271 remained stable for up to 120 min in stomach conditions with  $10^9$  CFU/g (Figure 2A), while in the intestinal conditions there was a significant reduction ( $p < 0.05$ ) in the number of

colonies, however the population was kept at  $10^9$  CFU/g up to 60 minutes (Figure 3A). For the sample stored for 14 days, no statistical differences were observed regarding the incubation times in both conditions ( $p > 0.05$ ) (Figures 2B and 3B). Regarding storage for 21 days (Figures 2C and 3C), significant reductions were detected after 60 minutes and 120 minutes in stomach conditions, and 120 minutes in intestinal conditions. However, the count in all periods was  $10^8$  CFU/g. Finally, in the sample stored for 28 days, no growth was detected after 120 minutes in stomach or intestinal conditions (Figures 2D and 3D).

**Figure 2.** Survival of *L. fermentum* ATCC 23271 in osmotically dehydrated sapodilla slices after simulated passage in the stomach. (A) Evaluation of the sample stored for 7 days; (B) Evaluation of the sample stored for 14 days; (C) Evaluation of the sample stored for 21 days; (D) Evaluation of the sample stored for 28 days. \*\*\* $p < 0.001$ ; \*\*\*\* $p < 0.0001$ ; ND= Not detected.



**Figure 3.** Survival of *L. fermentum* ATCC 23271 in osmotically dehydrated sapodilla slices after simulated passage in the intestine. (A) Evaluation of the sample stored for 7 days; (B) Evaluation of the sample stored for 14 days; (C) Evaluation of the sample stored for 21 days; (D) Evaluation of the sample stored for 28 days. \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$ ; ND= Not detected.



## DISCUSSION

Dehydrated fruits have been indicated as an interesting alternative for probiotic delivery (BUSTOS; FONT; TARANTO, 2023; EMSER; BARBOSA; TEIXEIRA; BERNARDO DE MORAIS, 2017; RASCÓN *et al.*, 2018). In this study, *L. fermentum* ATCC 23271 was successfully incorporated in osmotically dehydrated sapodilla. *L. fermentum* ATCC 23271 has been described as a strain with probiotic properties and with antimicrobial effects (CARMO, DO *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2021). In addition, this strain has been used for development of new food products (DEMISSIE; HUMBLLOT; BAXTER; NEALON; RYA., 2020; MENDES *et al.*, 2021).

The viability of probiotics in the food matrix depends on factors such as pH, temperature and storage

time, oxygen levels and the presence of competing and inhibitor microorganisms, fruit structure and food manufacturing conditions (MENDONÇA *et al.*, 2022; PRISCO, DE; MAURIELLO, 2016). The results show that *L. fermentum* ATCC 23271 showed high viability in dehydrated sapodilla during the storage at 4 °C, with only a 1 log reduction after 21 days of storage. This small reduction in the viability of *L. fermentum* ATCC 23271 can be explained by the presence of sugars that have the ability to confer a protective effect on probiotic strains under simulated conditions of gastric stress (SIANG; WAI; LIN; PHING, 2019). In addition, the storage temperature of 4 °C has been shown to be the best temperature to maintain probiotic viability in a fruit matrix over time (EMSER; BARBOSA; TEIXEIRA; BERNARDO DE MORAIS, 2017).

In order to induce a beneficial effect in human beings, the probiotic population of must be within the range of  $10^8$  to  $10^9$  CFU in the daily product recommendation or present populations from  $10^6$  to  $10^7$  CFU/g or mL in the final product (BRASIL, 2002; MENDONÇA *et al.*, 2022). To achieve this goal, strains must be selected considering their natural ability to survive during the stages of production, storage and distribution of functional foods, as well as their resistance to passing through the gastrointestinal tract (FERRANDO; QUIBERONI; REINHEMER; SUÁREZ, 2015; MENDONÇA *et al.*, 2022). Therefore, the viability of probiotic cultures during transit in the gastrointestinal tract is of fundamental importance.

Importantly, *L. fermentum* ATCC 23271 survived the adverse conditions of gastrointestinal tract in the samples stored up to 21 days ( $> 10^8$  CFU/g). These results can be explained by the presence of sugars that have the ability to confer a protective effect on probiotic strains (SIANG; WAI; LIN; PHING, 2019). The tolerance of probiotic strains to biliary stress is important for the successful colonization of intestinal epithelium (VIJAY; VIKRAMAN; MARY; CHAUHAN; KAPOOR, 2021). The results obtained with *L. fermentum* ATCC 23271 in dehydrated sapodilla were better than those reported for *Lactiplantibacillus plantarum* 299v in osmotically dehydrated cut apple (EMSER; BARBOSA; TEIXEIRA; BERNARDO DE MORAIS, 2017) and *Lactiplantibacillus plantarum* NCIM 2372 and *Lactocaseibacillus casei* NCIM 2126 in osmotically dehydrated pineapple (VIJAY; VIKRAMAN; MARY; CHAUHAN; KAPOOR, 2021).

## CONCLUSION

Osmotic dehydration proved to be a good method for probiotic incorporation into the sapodilla matrix. *L. fermentum* ATCC 23271 was successfully incorporated into osmotically dehydrated sapodilla slices and maintained viability throughout the storage period (28 days at 4°C. In addition, *L. fermentum* ATCC 23271 survived fast fast simulation of passage through the gastrointestinal tract (2 h), with values greater than  $10^8$  CFU/g, even in samples stored for up to 21 days. Therefore, the probiotic food generated can be considered a functional food, with sufficient probiotics amount to exert benefits to the health of the host. The product is applicable in different food products and would be suitable for consumers who do not eat dairy products.

## FUNDING

This work was funded by Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão (Processes numbers: UNIVERSAL 01259/18, POS-GRAD-02460/21, INFRA-02032/21, BATI-05452/21) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processes numbers: 426950/2018-6, 312349/2020-3).

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

## REFERENCES

- ASPRI, M.; PAPADEMAS, P.; TSALTAS, D. Review on Non-Dairy Probiotics and Their Use in Non-Dairy Based Products. **Fermentation**, v. 6, n. 1, p. 30, 26 fev. 2020.
- BARBOSA, J.; BORGES, S.; TEIXEIRA, P. *Pediococcus acidilactici* as a potential probiotic to be used in food industry. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 50, n. 5, p. 1151-1157, 2015.
- BODKE, H.; JOGDAND, S. Role of Probiotics in Human Health. **Cureus**, v. 14, n. 11, 10 nov. 2022.
- BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária -Resolução RDC nº 2, de 07 de janeiro de 2002. Aprova o Regulamento Técnico de Substâncias Bioativas e Probióticos Isolados com Alegação de Propriedades Funcional e ou de Saúde. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2002/rdc0002\\_07\\_01\\_2002.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2002/rdc0002_07_01_2002.html)>. Acesso em: 31 mar. 2023.
- BUSTOS, A. Y.; FONT, G.; TARANTO, M. P. Fruit and vegetable snacks as carriers of probiotics and bioactive compounds: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, 26 mar. 2023.
- CARMO, M. S. DO; NORONHA, F. M. F.; ARRUDA,

M. O.; SILVA COSTA, Ê. P. DA; BOMFIM, M. R. Q.; MONTEIRO, A. S.; FERRO, T. A. F.; FERNANDES, E. S.; GIRÓN, J. A.; MONTEIRO-NETO, V. *Lactobacillus fermentum* ATCC 23271 Displays In vitro Inhibitory Activities against *Candida* spp. **Frontiers in microbiology**, v. 7, n. OCT, 27 out. 2016.

COIMBRA, L. M. P. DE L.; ARRUDA, H. A. S. DE; MACHADO, E. DE C. L.; SALGADO, S. M.; ALBUQUERQUE, S. S. M. C. DE; ANDRADE, S. A. C. Water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of sapodilla (*Achras zapota* L.). **Ciência Rural**, v. 47, n. 8, p. e20150924, 20 jul. 2017.

COIMBRA, L. M. P. DE L.; ZAGMIGNAN, A.; GOMES, P. V. V.; ARAUJO, J. F.; SANTOS, G. D. C. DOS; MIRANDA, R. DE C. M. DE; SALGADO, S. M.; ANDRADE, S. A. C.; NASCIMENTO DA SILVA, L. C. Optimization of Osmotic Dehydration of Sapodilla (*Achras zapota* L.). **Foods**, v. 11, n. 6, 1 mar. 2022.

DEMISSIE, Y.; HUMBLLOT, C.; BAXTER, B.; NEALON, N. J.; RYAN, E. Probiotic Fermentation of Rice Bran with Six Genetically Diverse Strains Effects Nutrient and Phytochemical Composition; a Non-Targeted Metabolomics Approach. **Current Developments in Nutrition**, v. 4, n. Supplement\_2, p. 1553–1553, 1 jun. 2020.

EMSER, K.; BARBOSA, J.; TEIXEIRA, P.; BERNARDO DE MORAIS, A. M. M. *Lactobacillus plantarum* survival during the osmotic dehydration and storage of probiotic cut apple. **Journal of Functional Foods**, v. 38, p. 519–528, 1 nov. 2017.

FERRANDO, V.; QUIBERONI, A.; REINHEMER, J.; SUÁREZ, V. Resistance of functional *Lactobacillus plantarum* strains against food stress conditions. **Food microbiology**, v. 48, p. 63–71, 1 jun. 2015.

GAO, J.; LI, X.; ZHANG, G.; SADIQ, F. A.; SIMAL-GANDARA, J.; XIAO, J.; SANG, Y. Probiotics in the dairy industry-Advances and opportunities. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 20, n. 4, p. 3937–3982, 1 jul. 2021.

GREEN, M.; ARORA, K.; PRAKASH, S. Microbial Medicine: Prebiotic and Probiotic Functional Foods to Target Obesity and Metabolic Syndrome. **International journal of molecular sciences**, v. 21, n. 8, 2 abr. 2020.

GUIMARÃES, G. M. *et al.* Cocoa Pulp as Alternative Food Matrix for Probiotic Delivery. **Recent patents on food, nutrition & agriculture**, v. 11, n. 1, p. 82–90, 9 abr. 2020.

KAUR, D.; SINGH, M.; ZALPOURI, R.; SINGH, I. Osmotic dehydration of fruits using unconventional natural sweeteners and non-thermal-assisted technologies: A review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 12, p. e16890, 1 dez. 2022.

KUMAR, D.; LAL, M. K.; DUTT, S.; RAIGOND, P.; CHANGAN, S. S.; TIWARI, R. K.; CHOURASIA, K. N.; MANGAL, V.; SINGH, B. Functional Fermented Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics from Non-Dairy Products: A Perspective from Nutraceutical. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 66, n. 14, p. 2101059, 1 jul. 2022.

KUMAR, S.; RATTU, G.; MITHARWAL, S.; CHANDRA, A.; KUMAR, SOURABH; KAUSHIK, A.; MISHRA, V.; NEMA, P. K. Trends in non-dairy-based probiotic food products: Advances and challenges. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 9, p. e16578, 1 set. 2022.

MENDES, Y. C.; MESQUITA, G. P.; COSTA, G. D. E.; BARBOSA DA SILVA, A. C.; GOUVEIA, E.; SILVA, M. R. C.; MONTEIRO-NETO, V.; MIRANDA, R. DE C. M. DE; NASCIMENTO DA SILVA, L. C.; ZAGMIGNAN, A. Evaluation of growth, viability, lactic acid production and anti-infective effects of *Lactobacillus rhamnosus* atcc 9595 in bacuri juice (*Platonia insignis*). **Foods**, v. 10, n. 3, 1 mar. 2021.

MENDONÇA, A. A.; PINTO-NETO, W. DE P.; PAIXÃO, G. A. DA; SANTOS, D. DA S.; MORAIS, M. A. DE; SOUZA, R. B. DE. Journey of the Probiotic Bacteria: Survival of the Fittest. **Microorganisms**, v. 11, n. 1, p. 95, 30 dez. 2022.

MIN, M.; BUNT, C. R.; MASON, S. L.; HUSSAIN, M. A. Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 16, p. 2626–2641, 8 set. 2019.

PANDISELVAM, R.; TAK, Y.; OLUM, E.; SUJAYASREE, O. J.; TEKGÜL, Y.; ÇALIŞKAN KOÇ, G.; KAUR, M.; NAYI, P.; KOTHAKOTA, A.; KUMAR, M. Advanced osmotic dehydration techniques combined with emerging drying methods for sustainable food

production: Impact on bioactive components, texture, color, and sensory properties of food. **Journal of Texture Studies**, v. 53, n. 6, p. 737–762, 1 out. 2022.

PRAMANIK, S.; VENKATRAMAN, S.; KARTHIK, P.; VAIDYANATHAN, V. K. A systematic review on selection characterization and implementation of probiotics in human health. **Food Science and Biotechnology**, v. 32, n. 4, p. 423–440, 10 jan. 2023.

PRISCO, A. DE; MAURIELLO, G. Probiotication of foods: A focus on microencapsulation tool. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 27–39, 1 fev. 2016.

RASCÓN, M. P.; HUERTA-VERA, K.; PASCUAL-PINEDA, L. A.; CONTRERAS-OLIVA, A.; FLORES-ANDRADE, E.; CASTILLO-MORALES, M.; BONILLA, E.; GONZÁLEZ-MORALES, I. Osmotic dehydration assisted impregnation of *Lactobacillus rhamnosus* in banana and effect of water activity on the storage stability of probiotic in the freeze-dried product. **LWT**, v. 92, p. 490–496, 1 jun. 2018.

SANTOS, C. I. *et al.* Genomic Analysis of *Limosilactobacillus fermentum* ATCC 23271, a Potential Probiotic Strain with Anti-Candida Activity. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 10, p. 794, 24 set. 2021.

SIANG, S. C.; WAI, L. K.; LIN, N. K.; PHING, P. L. Effect of added prebiotic (Isomalto-oligosaccharide) and Coating of Beads on the Survival of Microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* GG. **Food Science and Technology**, v. 39, p. 601–609, 4 nov. 2019.

VERA-SANTANDER, V. E.; HERNÁNDEZ-FIGUEROA, R. H.; JIMÉNEZ-MUNGUÍA, M. T.; MANI-LÓPEZ, E.; LÓPEZ-MALO, A. Health Benefits of Consuming Foods with Bacterial Probiotics, Postbiotics, and Their Metabolites: A Review. **Molecules**, v. 28, n. 3, 1 fev. 2023.

VIJAY, S.; VIKRAMAN, S.; MARY, P. R.; CHAUHAN, A. S.; KAPOOR, M. Osmotic infusion of *Lactiplantibacillus plantarum* and *Lacticaseibacillus casei* in cut pineapple matrix: Optimization, survival under gastrointestinal stress, and storage stability studies. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 2, p. e15132, 1 fev. 2021.

WANG, Y.; WEN, L.; TANG, H.; QU, J.; RAO, B. Probiotics and Prebiotics as Dietary Supplements for the Adjunctive Treatment of Type 2 Diabetes. **Polish journal of microbiology**, v. 72, n. 1, p. 3–9, 1 mar. 2023.

## 5 CONCLUSÃO

As condições experimentais utilizadas nesta pesquisa permitem as seguintes conclusões:

A perda de umidade (PU) e ganho de sólidos (GS) apresentaram influência significativa da temperatura e concentração da solução osmótica e o Índice de Eficiência de Desidratação (IED) teve influência significativa da concentração da solução osmótica e tempo de imersão.

As melhores condições de processamento do sapoti, utilizando o IED como parâmetro, foram 34°C; 56°Brix; 210 minutos e 40°C; 50°Brix; 165 minutos.

O sapoti osmoticamente desidratado na condição de 40°C; 50°Brix; 165 minutos apresentou melhores resultados na análise sensorial, índice de aceitabilidade e intenção de compra; padrões microbiológicos que atendem aos estabelecidos pela Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001, da Agência Nacional da Vigilância Sanitária, evidenciando adequadas condições higiênico-sanitárias em todas as etapas de processamento; conformidade com a legislação brasileira vigente para frutas desidratadas, com umidade de 24,34%; paredes celulares com redução de turgor e rupturas após o tratamento osmótico.

*L. fermentum* ATCC 23271 resistiu ao processo de DO (40°C; 50°Brix; 165 minutos) com uma população de  $10^9$  UFC/g mesmo após 14 dias de armazenamento. Nas semanas seguintes, a população atingiu  $10^8$  UFC/g ( $p < 0,01$ ). Além disso, *L. fermentum* ATCC 23271 sobreviveu à passagem simulada pelo trato gastrointestinal, com valores superiores a  $10^8$  UFC/g para amostras armazenadas por até 21 dias.

O processo de desidratação osmótica do sapoti é uma boa alternativa para conservar o fruto e aumentar sua vida útil, possibilitando assim sua comercialização e agregando valor econômico para o produto final.

Obteve-se um novo produto probiótico, isento de lactose, com satisfatória estabilidade, elevada vida de prateleira e que pode ser comercializado em diferentes regiões do país.