

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**Efeitos da água ozonizada em sistema de microbolhas na qualidade microbiológica e físico-química de frutos da palmeira juçara (*Euterpe edulis* Martius)**

Rafael Ferreira Pacca  
*Magister Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**RAFAEL FERREIRA PACCA**

**Efeitos da água ozonizada em sistema de microbolhas na qualidade microbiológica e físico-química de frutos da palmeira juçara (*Euterpe edulis* Martius)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Ernandes R. de Alencar

Coorientadores: Leda R. D. Faroni  
Carollayne G. Magalhães

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

P114e  
2025 Pacca, Rafael Ferreira, 1997-  
Efeitos da água ozonizada em sistema de microbolhas na  
qualidade microbiológica e físico-química de frutos da palmeira  
juçara (*Euterpe edulis* Martius) / Rafael Ferreira Pacca. –  
Viçosa, MG, 2025.  
1 dissertação eletrônica (41 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Ernandes Rodrigues de Alencar.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Engenharia Agrícola, 2025.  
Referências bibliográficas: f. 35-41.  
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.598>  
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Açáí - Microbiologia - Efeito do ozônio. 2. Açáí -  
Fisiologia pós-colheita. 3. Palmiteiro-juçara. I. Alencar,  
Ernandes Rodrigues de, 1980-. II. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 634.4

**RAFAEL FERREIRA PACCA**

**Efeitos da água ozonizada em sistema de microbolhas na qualidade microbiológica e físico-química de frutos da palmeira juçara (*Euterpe edulis* Martius)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de maio de 2025.

Assentimento:

---

Rafael Ferreira Pacca  
Autor

---

Ernandes Rodrigues de Alencar  
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 24/09/2025 às 17:49:12 e pelo orientador em 27/09/2025 às 16:41:04. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **P17R.XKAK.QOC9** e clique no botão 'Validar documento'.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação e oferecer a estrutura e espaço necessário para realização da pesquisa.

Aos professores e colegas do laboratório de pós-colheita, pelo apoio, companhia e auxílio.

Aos pesquisadores e professores do laboratório de corantes naturais, pelo auxílio nas análises.

Ao professor Ernandes Rodrigues de Alencar pela orientação, ensinamentos, paciência e auxílio.

À Carollayne pelo suporte, colaboração durante o desenvolvimento deste trabalho.

Às juçareiras e juçareiros, pela companhia e inspiração, em especial: Pedro, Rasta, Rodrigo, Talita, Thais e Vinicius.

Aos amigos da zona rural e do centro de Viçosa.

Às comunidades do Canela, Palmital, Paraíso e Romão dos Reis pelo acolhimento e ensinamentos.

A minha família pelo suporte, paciência e motivação.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

*“Essa é a saudosa Juçara,  
Ela é o nosso açai, palmeira nativa de Mata Atlântica,  
Tem um monte lá no palmital!”.*  
(Seu Lélo)

## RESUMO

PACCA, Rafael Ferreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2025. **Efeitos da água ozonizada em sistema de microbolhas na qualidade microbiológica e físico-química de frutos da palmeira juçara (*Euterpe edulis* Martius)**. Orientador: Ernandes Rodrigues de Alencar. Coorientadores: Leda Rita Dantonino Faroni e Carollayne Gonçalves Magalhães.

Este estudo investigou os efeitos da água ozonizada em sistema de microbolhas sobre a qualidade microbiológica e físico-química dos frutos de juçara (*Euterpe edulis* Martius). O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos e nas subparcelas os tempos de armazenamento, em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. O ensaio experimental foi composto por seis tratamentos: um controle, que correspondeu a frutos não tratados, exposição ao sanitizante comercial clorin (Dicloro-S-Triazinetrione de Sódio) por 15 min, dois tempos de exposição a microbolhas de ozônio (2,5 mg L<sup>-1</sup> de O<sub>3</sub>) e microbolhas isentas de ozônio, por tempos de 90 e 180 min. As amostras foram armazenadas em câmara fria a 5 °C e umidade relativa de 85 %. A qualidade microbiológica e físico-química das amostras foi analisada com 0, 3 e 6 dias de armazenamento. Nas análises microbiológicas foi avaliado a incidência de bactérias mesofílicas, fungos filamentosos e leveduriformes. Como parâmetros de qualidade, analisou-se a perda de massa fresca, teor de sólidos solúveis, pH, acidez total titulável, cor dos frutos e da polpa, compostos fenólicos, antocianinas e antioxidantes. A água ozonizada em sistema de microbolhas reduziu efetivamente as contagens bacterianas com 180 min de exposição (redução de 0,75 ciclos log em relação ao controle) e tanto o tempo de 90 min, como o de 180 min, reduziram a incidência fúngica nos frutos de Juçara (em 0,30 e 1,62 ciclos log respectivamente em relação ao controle). Os tratamentos com água ozonizada ajudaram a manter níveis significativos de compostos bioativos, como fenólicos e antocianinas, destacando suas vantagens para prolongar a vida útil dos frutos sem comprometer a qualidade. Concluiu-se que a água ozonizada em sistema de microbolhas é uma alternativa eficiente para desinfecção dos frutos de *E. edulis* e manutenção da qualidade pós-colheita, demonstrando seu potencial como alternativa sustentável aos métodos tradicionais de sanitização de frutos para produção de polpa.

Palavras-chave: açaí juçara; microbolhas de ozônio; inativação de microrganismos; qualidade pós-colheita

## ABSTRACT

PACCA, Rafael Ferreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2025. **Effects of ozonated water in a microbubble system on the microbiological and physicochemical quality of juçara palm fruits (*Euterpe edulis* Martius)**. Adviser: Ernandes Rodrigues de Alencar. Co-advisers: Leda Rita Dantonino Faroni and Carollayne Gonçalves Magalhães.

This study investigated the effects of ozonated water in a microbubble system on the microbiological and physicochemical quality of juçara fruits (*Euterpe edulis* Martius). The experiment followed a split-plot design, with treatments as the main plots and storage times as subplots, in a completely randomized design (CRD) with three replicates. The experimental setup included six treatments: an untreated control; exposure to the commercial sanitizer Clorin (Sodium Dichloro-S-Triazinetrione) for 15 minutes; and two exposure times (90 and 180 minutes) for both ozone-containing microbubbles (2.5 mg L<sup>-1</sup> of O<sub>3</sub>) and ozone-free microbubbles. Samples were stored in a cold chamber at 5°C and 85% relative humidity. Microbiological and physicochemical quality assessments were conducted at 0, 3, and 6 days of storage. Microbiological analyses included mesophilic bacteria, filamentous fungi, and yeast counts. Quality parameters evaluated were fresh weight loss, soluble solids content, pH, titratable acidity, fruit and pulp color, phenolic compounds, anthocyanins, and antioxidant activity. Ozonated water in the microbubble system effectively reduced bacterial counts after 180 minutes of exposure (0,72 log cycles less than control treatment), and both 90- and 180-minute treatments reduced fungal incidence in juçara fruits (respectively 0,30 and 1,62 log cycles less than control treatment). Treatments with ozonated water also helped preserve significant levels of bioactive compounds such as phenolics and anthocyanins, highlighting their benefits for extending fruit shelf life without compromising quality. It was concluded that ozonated water in a microbubble system is an efficient alternative for disinfecting *E. edulis* fruits and maintaining postharvest quality, demonstrating its potential as a sustainable alternative to conventional fruit sanitization methods for pulp production.

Keywords: açai juçara; ozone microbubbles; microorganisms inactivation; post-harvest quality

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	08
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1 Obtenção dos frutos e caracterização inicial.....	11
2.2 Delineamento experimental e condições de tratamento com ozônio .....	11
2.3 Obtenção e quantificação do gás ozônio.....	13
2.4 Armazenamento dos frutos.....	14
2.5 Análises microbiológicas.....	14
2.6 Análises físico-químicas.....	15
2.6.1 Processamento dos frutos para obtenção da polpa .....	15
2.6.2 Perda de massa fresca (%)......	16
2.6.3 Sólidos solúveis totais (°Brix).....	16
2.6.4 pH.....	16
2.6.5 Acidez total titulável (ácido cítrico).....	16
2.6.6 Cor dos frutos e polpa ( $\Delta E^*$ , $h^*$ , $C^*$ ).....	17
2.6.7 Compostos fenólicos e antioxidantes.....	18
2.6.7.1 Preparo dos extratos.....	18
2.6.7.2 Compostos fenólicos totais (ácido gálico).....	18
2.6.7.3 Atividade antioxidante pelo método ABTS.....	18
2.6.7.4 Atividade antioxidante pelo método FRAP	18
.....	
2.6.7.5 Antocianinas	19
Totais.....	
2.7 Análise estatística.....	20
3. RESULTADOS.....	21
3.1 Qualidade microbiológica.....	21
3.2 Qualidade físico-química.....	23
3.2.1 Perda de massa fresca, sólidos solúveis totais, pH e acidez total titulável.....	23
3.2.2 Cor dos frutos e polpa.....	25
3.2.3 Compostos fenólicos e antioxidantes.....	28
4. DISCUSSÃO.....	30
5. CONCLUSÕES.....	34
REFERÊNCIAS.....	35

## 1. INTRODUÇÃO

O gênero *Euterpe* spp. pertencente à família Arecaceae (Palmae), concentra espécies economicamente importantes, como *E. oleracea* (Açaí), *E. precatoria* (Açaí-solteiro) e *E. edulis* (Juçara) (Borges et al., 2013). Os frutos da juçara apresentam características físicas semelhantes às do açaí (Siqueira et al., 2017), sendo uma fonte promissora de compostos antioxidantes (Borges et al., 2013), embora as plantas tenham centros de origem distintos, as polpas e subprodutos das três espécies são bastante similares, sendo comumente misturadas e vendidas como açaí (Godoy et al., 2022).

Os frutos de *E. edulis* apresentam padrão respiratório não climatérico, formato esférico, com diâmetro de 1,0 a 1,5 cm e coloração preta, quando maduros (Schulz et al., 2015). Por suas propriedades nutricionais e antioxidantes, a juçara é considerada uma superfruta (Felzenszwalb et al., 2013), sendo a polpa, assim como a de açaí, rica em proteínas, ácidos graxos como Ômega 6 e 9, minerais, vitaminas, fibras e muito utilizada na produção de sucos e sobremesas (Schulz et al., 2015; Guimarães et al., 2017; Batista; Froehlich, 2023).

As polpas de açaí e de juçara, além de serem fonte de energia, especialmente quando associada a práticas esportivas, tem o consumo associado a efeitos cardioprotetores, anti-inflamatórios, anticancerígenos e antivirais, devido a presença de compostos bioativos com elevado teor antioxidante, como por exemplo, as antocianinas, que são os constituintes químicos predominantes (Oliveira et al., 2018; Dantas et al., 2021; Alessandra-Perini et al., 2023; Teixeira et al., 2024). Essas características, resultaram no aumento mundial da demanda pela polpa de frutos do gênero *Euterpe* spp., em especial do açaí e, atualmente, o Brasil é o maior consumidor, produtor e exportador (Jesus et al., 2020; Souza et al., 2024). Em comparação a outras frutas, o açaí apresenta teores de antocianinas superiores aos do mirtilo, cranberries, ameixas e framboesas (Jesus et al., 2020). Comparado com o açaí, os frutos de *E. edulis* apresentam quantidades superiores de minerais (K, Fe e Zn) e teores de antocianinas que podem ser até dez vezes mais elevados (Silva et al., 2019; Inácio et al., 2013).

A espécie *E. edulis*, conhecida popularmente como ‘Juçara’, ‘palmito Juçara’, ou ‘palmito doce’, é nativa do Brasil, ocorrendo em regiões da Mata Atlântica (Sul da Bahia-BA ao Rio Grande do Sul-RS) e matas de galeria do cerrado e em algumas regiões do Paraguai e Argentina (Souza et al., 2018; Silva et al., 2019). Além dos frutos serem explorados para produção de polpa, a palmeira de *E. edulis* também é utilizada para extração de palmito (Souza et al., 2018). Contudo, a extração desenfreada de palmito, contribuiu para redução da

população nativa, classificando essa espécie como vulnerável (Souza et al., 2018; Brasil, 2022).

A juçara desempenha um papel fundamental na conservação da biodiversidade, uma vez que seus frutos servem de alimento para diversos animais (Baggio et al., 2023). A juçara, além de sua importância ecológica (Godoy et al., 2022), possui um valor cultural significativo nas comunidades locais da Mata Atlântica (Pereira et al., 2017; Guimarães et al., 2017), a extração de frutos para produção de polpa também é considerada uma fonte de renda para muitos agricultores e contribui com o crescimento da economia regional (Maciel et al., 2021; Godoy et al., 2022).

Assim como o açaí, os frutos possuem vida útil bastante limitada na fase de pós-colheita e iniciam o processo de deterioração com um ou dois dias depois de colhidas (Amorim et al., 2023). Quando armazenados em temperatura ambiente, a perda de compostos fenólicos pode atingir 50% em apenas 13 horas (Aguiar et al., 2013). As alterações metabólicas dos frutos, modificam a síntese das enzimas peroxidases (POD) e polifenol oxidases (PPO), ocasionando o escurecimento da polpa processada pela oxidação de componentes majoritários, sabores indesejáveis e aumento da perecibilidade (Dantas et al., 2021).

A presença de microrganismos nos frutos também é um problema particularmente sério na fase de pós-colheita, podendo afetar a segurança do produto e ocasionar doenças e surtos alimentares. Fungos filamentosos e leveduras, coliformes totais e termotolerantes, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus* spp., *Enterobacter* spp. e *Serratia* spp. são microrganismos comumente encontrados em frutos ou subprodutos de açaí e da juçara, como polpa e suco (Castro et al., 2016; Santos et al., 2016; Bezerra et al., 2017; Batista; Froehlich, 2023; Silva et al., 2023). A presença de microrganismos ocorre pelas condições naturais de cultivo e ausência de boas práticas agrícolas nas fases de colheita e pós-colheita.

Durante o cultivo, os frutos podem entrar em contato com as fezes de animais silvestres, que sobem ou pousam nas palmeiras, e com insetos triatomíneos (barbeiros) infectados, responsáveis pela transmissão do protozoário *Trypanosoma cruzi*, causador da doença de Chagas (Amorim et al., 2023). A exposição dos frutos aos vetores de contaminação e o manuseio inadequado, fazem com que os frutos geralmente apresentem contaminação inicial de microrganismos superior à permitida pela legislação brasileira (Rogez et al., 2012).

Atualmente, a sanitização dos frutos de juçara com soluções cloradas é a principal técnica utilizada para o tratamento, mas a substituição desses produtos por outros mais sustentáveis se faz necessária, considerando que a imersão dos frutos em água clorada pode

resultar em sabores desagradáveis e os subprodutos do cloro como os ácidos haloacéticos (HAAs) e os trihalometanos (THMs), também possuem efeitos citotóxicos, genotóxicos, mutagênicos e teratogênicos (Barthwal et al., 2025). Neste contexto, a sanitização com ozônio pode ser uma alternativa aos tratamentos convencionais para desinfecção dos frutos, tanto de juçara quanto de açaí.

O ozônio apresenta potencial oxidativo e de esterilização superior ao cloro (1,5 vezes maior) e se degrada rapidamente após a aplicação, tendo o próprio oxigênio como subproduto de seu tratamento. A ausência de subprodutos tóxicos nos alimentos e no meio ambiente classificaram a ozonização como uma tecnologia verde e seu uso também é permitido na produção orgânica certificada, sendo regulamentado para uso em ambientes e diretamente nos alimentos pelo FDA (*Food and Drug Administration*) e USDA (*United States Department of Agriculture*) (Barthwal et al., 2025).

O ozônio pode ser aplicado em produtos agrícolas na forma gasosa (Silva, M. V. A. et al., 2024; Siteo et al., 2024) e aquosa (Morata et al., 2025; Zia et al., 2025). Em meio aquoso, o ozônio dissolvido em água é utilizado para lavagem de frutas e hortaliças e pode ser aplicado para pulverização (Gonçalves-Magalhães et al., 2024 e 2025; Siteo et al., 2025), enxague (Rodrigues et al., 2021), ou imersão (Silva et al., 2024), com finalidades de desinfecção, conservação e remoção de resíduos químicos. Sua capacidade de oxidação na água tende a aumentar com a inclusão de equipamentos para produção de microbolhas, no sistema de tratamento por imersão. Isto porque, as microbolhas aumentam a solubilidade e o tempo de retenção do ozônio na água (Liu et al., 2023). Os efeitos da água ozonizada, associados ao uso de microbolhas já foram avaliados em maçã (Li et al., 2021), morango, cereja, damasco (Li et al., 2024) e alface (Silva, M. J. et al., 2024). Os estudos demonstraram, que essa tecnologia foi eficiente na remoção de microrganismos, ou de resíduos químicos, sem comprometer a qualidade físico-química dos vegetais.

O uso de ozônio no tratamento pós-colheita de frutos de espécies com uso alimentar do gênero *Euterpe* ainda é pouco difundido. Na literatura, existem estudos científicos sobre a aplicação de ozônio gasoso em suco processado (Oliveira et al., 2018) e de água ozonizada na desinfecção de frutos frescos (Bezerra et al., 2016; Bezerra et al., 2017), ambos os estudos com açaí da espécie *E. oleraceae*. Entretanto, esses relatos não são suficientes para caracterizar a dinâmica e efetividade do ozônio no comportamento pós-colheita, especialmente em frutos frescos. O uso de água ozonizada em sistema de microbolhas em frutos de *E. edulis* ainda não foi investigado. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo

investigar os efeitos da água ozonizada em sistema de microbolhas sobre a qualidade microbiológica e físico-química dos frutos de juçara (*E. edulis*).

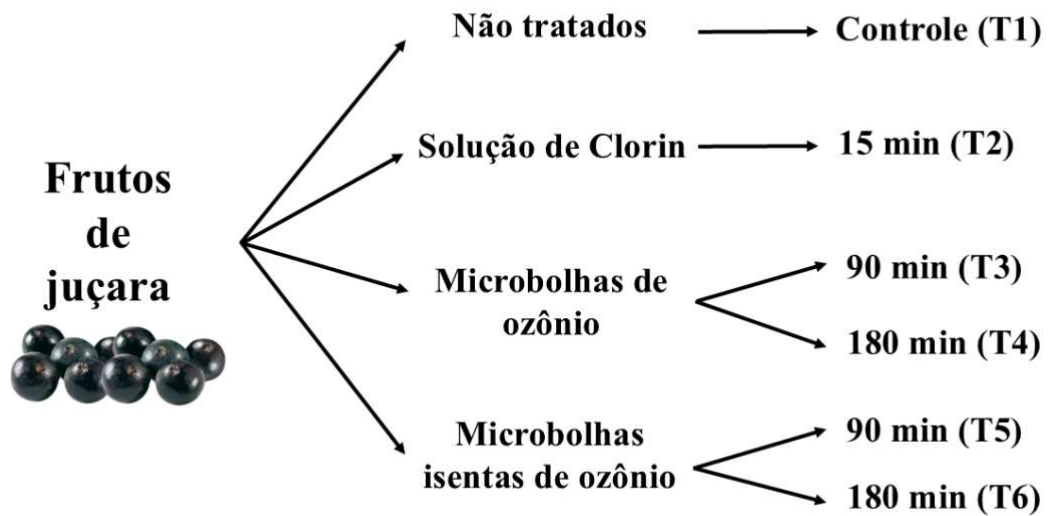
## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Obtenção dos frutos e caracterização inicial**

Os frutos de juçara (*E. edulis*) foram coletados em sítios localizados no município de Viçosa-MG, Brasil e transferidos imediatamente para o laboratório de qualidade de produtos agrícolas (DEA-UFV), dentro de caixas plásticas, em temperatura ambiente. Foram utilizados frutos de *E. edulis*, colhidos em ponto ideal de maturação (coloração preta azulada viva) (Schulz et al., 2015). No laboratório, os frutos passaram por um processo de limpeza manual para uniformização e retirada de impurezas como pedaços de galho e folhas, descartando-se frutos secos. Em seguida foi realizada a lavagem em água corrente e secagem a temperatura ambiente. Os frutos também foram caracterizados inicialmente em relação a cor.

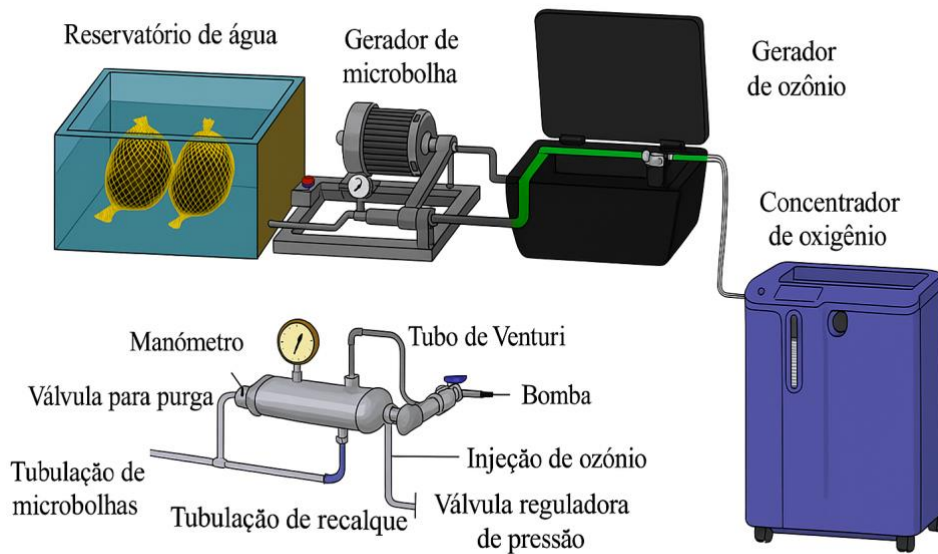
### **2.2 Delineamento experimental e condições de tratamento com ozônio**

O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos (microbolhas com e sem ozônio, clorin e controle) e nas subparcelas os tempos de armazenamento (0, 3 e 6 dias), em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições. O ensaio experimental foi composto por seis tratamentos: controle, que correspondeu a frutos não tratados (T1); exposição ao sanitizante comercial clorin (Dicloro-S-Triazinetrione de Sódio) por 15 min (T2), conforme recomendações do fabricante; dois tempos de exposição a microbolhas de ozônio na concentração de 2,5 mg L<sup>-1</sup> (90 e 180 min; T3 e T4, respectivamente); e dois tempos de exposição a microbolhas isentas de ozônio (90 e 180 min; T5 e T6, respectivamente) (Figura 1). Nos tratamentos de microbolhas isentas de ozônio, apenas o concentrador de oxigênio e o gerador de microbolhas permaneceram ligados durante o processo de tratamento. Os tempos de exposição a microbolhas analisados no trabalho, foram definidos baseando-se em resultados de testes preliminares, cujo tempos de 90 e 180 min foram considerados os mais adequados para desinfecção dos frutos de juçara.



**Figura 1.** Descrição dos tratamentos adotados no ensaio experimental.

Para incorporação das microbolhas na água, foi utilizado um gerador de microbolha modelo MB600® (myOZONE, Jaguariúna, São Paulo, Brasil). O gerador de microbolha apresentava uma bomba com injetor do tipo Venturi para injeção de gás na água destilada, cujo a bomba era conectada a um vaso de pressão. O gás era injetado na água destilada durante 15 min e após este período, realizava-se a imersão das amostras de juçara na água. O sistema permaneceu ligado durante os tratamentos de microbolhas (com e sem ozônio). O tratamento dos frutos ocorreu em tanque modelo myOZONE (Jaguariúna, São Paulo, Brazil), com capacidade para cerca de 27,5 L (53,0 cm comprimento x 19,5 cm largura x 26,5 cm altura) (Figura 2). O tanque foi preenchido com 15 L de água destilada para imersão dos frutos. A juçara, após a limpeza inicial, foi alocada em redes plásticas, preenchidas com 650 g de frutos e imersas no tanque de tratamento, um tratamento por vez (Figura 3). Durante o processo de imersão, a temperatura da água foi monitorada a cada 5 min, permanecendo sempre próxima a 5°C. No tratamento com clorin, foram dissolvidos 7,5 comprimidos na água (1 comprimido para cada 2 litros de água), conforme as recomendações do fabricante. Após o tratamento com clorin e microbolhas, os frutos permaneceram em uma mesa higienizada durante 30 min, para secagem em temperatura ambiente (25 °C).



**Figura 2.** Esquema experimental e equipamentos adotados no tratamento dos frutos de juçara.



**Figura 3.** Sequência de etapas de pré-processamento dos frutos de juçara.

### 2.3 Obtenção e quantificação do gás ozônio

A obtenção do gás ozônio ocorreu por descarga de barreira dielétrica-DBD, por meio de um gerador de ozônio modelo M10® (myOZONE, Jaguariúna, São Paulo, Brasil) com capacidade produtiva de  $10 \text{ g h}^{-1}$ . Para produção do gás ozônio, foi utilizado um concentrador de oxigênio modelo EverFlo™ OPI 5LPM (Philips Respironics, Murrysville, Pensilvânia, EUA). O oxigênio utilizado no processo apresentava pureza de 93%. Foi adotado a vazão volumétrica de  $2 \text{ L min}^{-1}$ , mensurada por um medidor de vazão modelo MF5700® (Siargo Ltd, Chengdu, Sichuan, China). A quantificação do gás ozônio foi realizada pelo método iodométrico de titulação indireta (Rakness et al., 1996), segundo os critérios da International Ozone Association (IOA).

A concentração de entrada do gás ozônio na água, na saída do gerador de ozônio foi mantida constante em  $10 \text{ mg L}^{-1}$  e a concentração de ozônio dissolvido na água no início do tratamento foi de  $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ , após 15 min de injeção. O ozônio dissolvido na água foi quantificado realizando-se uma adaptação ao método iodométrico. Foram retirados do tanque de tratamento, 50 mL de água ozonizada que foi transferida para um Erlenmeyer contendo iodeto de potássio (KI 2%) e ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), para titulação com tiosulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ).

## 2.4 Armazenamento dos frutos

As amostras de juçara dos tratamentos controle, clorin e microbolhas foram acondicionadas em bandejas retangulares de poliestireno (21,5 cm x 14,5 cm) cobertas com filme PVC (Policloreto de Vinila), realizando-se a pesagem e a identificação das bandejas conforme os tratamentos. Cada bandeja recebeu  $200 \pm 2 \text{ g}$  de açaí e correspondeu a cada parcela experimental. As amostras foram armazenadas em câmara fria a  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  e umidade relativa de 85 %. A qualidade microbiológica e físico-química das amostras foi avaliada no tempo 0 (imediatamente após o tratamento) e após 3 e 6 dias de armazenamento.

## 2.5 Análises microbiológicas

Foram realizadas contagens de mesófilos aeróbios e fungos filamentosos e leveduras ao longo do armazenamento, para determinação da qualidade microbiológica do açaí. Em cada parcela experimental retirava-se 10 g de fruta, que eram acondicionadas em sacos plásticos esterilizados. Posteriormente, acrescentava-se 90 mL de solução salina 2% autoclavada, como diluente e os frutos eram massageados para liberação dos microrganismos na solução. Essa mistura correspondeu a diluição  $10^{-1}$  e foi utilizada para o preparo das diluições subsequentes. Foram consideradas nas contagens dos microrganismos, as diluições de  $10^{-2}$  a  $10^{-6}$  tanto para mesófilos aeróbios, como para fungos filamentosos e leveduriformes.

O plaqueamento dos microrganismos foi feito em câmara de fluxo laminar vertical modelo PCR FLV-1266/4 (Filterflux, Piracicaba, São Paulo, Brasil). Para mesófilos aeróbios, foi utilizado o método de inoculação em profundidade (*Pour-Plate*), pipetando-se 1,0 mL da diluição em placa de petri e adicionando-se meio de cultura líquido (*Plate Count Agar-PCA*). Os fungos filamentosos e leveduras foram plaqueados pelo método de espalhamento em placa (*Spread-Plate*), pipetando-se alíquotas de 0,1 mL (100 microlitros,  $\mu\text{L}$ ) em placa de petri

contendo meio de cultura sólido (*Potato Dextrose Agar-PDA*) acidificado com ácido tartárico 10% e realizando o espalhamento do material com alça de drigalski.

A incubação das placas foi feita em câmaras BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), em tempos e temperaturas de 48 h (2 dias) e 30 °C, para mesófilos aeróbios e de 120 h (5 dias) e 25 °C, para fungos filamentosos e leveduras. Depois de incubadas, as colônias de bactérias e fungos foram contadas, considerando-se as faixas de 25 a 250 colônias para mesófilos aeróbios e de 15 a 150 colônias para fungos filamentosos e leveduriformes e os resultados foram expressos em log UFC g<sup>-1</sup>. As análises microbiológicas foram feitas seguindo as recomendações da American Public Health Association-APHA (Salfinger; Tortorello, 2015).

## **2.6 Análises físico-químicas**

As variáveis físico-químicas avaliadas no trabalho seguiram as recomendações do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008) e Commission International de L'Eclairage (CIE, 2004). Todas as análises do trabalho foram feitas em triplicata. As análises de compostos fenólicos totais foram realizadas segundo a metodologia de Singleton e Rossi (1965), com modificações e os antioxidantes totais conforme as metodologias de Re et al., (1999) (método ABTS) e Morais et al., (2013) (método FRAP), com modificações. Para o teor de antocianinas totais, foi utilizado a metodologia adaptada de Fuleki e Francis (1968).

### **2.6.1 Processamento dos frutos para obtenção da polpa**

Os frutos de juçara foram processados manualmente para obtenção da polpa caracterizada como, tipo C (açai fino ou popular, extraído com adição de água e aparência pouco densa) (BRASIL, 2000). Em um béquer plástico de 2 L eram adicionados 200 g de frutos e 400 mL de água destilada morna em temperatura de 40°C. O material permaneceu em descanso por 20 min e após este período, 300 mL da água eram removidos e o material restante (200 g de frutos + 100 mL de água destilada) era utilizado na despolpa. As sementes eram removidas e o restante do material triturado em um liquidificador Easy Power (Mondial, Sorocaba, Brasil) para homogeneização da polpa.

### 2.6.2 Perda de massa fresca (%)

A perda de massa fresca foi calculada a partir da diferença entre a massa inicial da amostra no tempo 0 e após 3 e 6 dias de armazenamento, com resultados expressos em porcentagem (%) (Equação 1). Para pesagem das amostras, foi utilizado uma balança semi-analítica digital com precisão de  $10^{-2}$ , modelo BK 8000 (Gehaka, São Paulo, Brasil).

$$\text{Perda de massa(\%)} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

Na equação,  $M_i$  indica massa inicial da amostra no dia 0 e  $M_f$  a massa da amostra do dia avaliado.

### 2.6.3 Sólidos solúveis totais (°Brix)

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado por refratometria, realizando-se quatro leituras por parcela e utilizando-se um refratômetro digital modelo Poket Refractometer PAL-3 (Atago, Tóquio, Japão).

### 2.6.4 pH

O pH foi mensurado através de um pHmetro digital portátil modelo K39-0014PA (Kasvi, São José dos Pinhais, Brasil). O eletrodo do equipamento era imerso em solução composta por 5 gramas da polpa de juçara e 50 mL de água destilada.

### 2.6.5 Acidez total titulável (% em ácido cítrico)

A acidez total titulável foi determinada por potenciometria. Para as leituras de acidez titulável, o eletrodo do pHmetro era imerso em solução contendo 5 g da polpa de juçara e 50 mL de água destilada. A essa mistura eram adicionados solução de hidróxido de sódio (NaOH 0,1) até o pH da solução atingir 8,2. Foi utilizado um pHmetro digital portátil modelo K39-0014PA (Kasvi, São José dos Pinhais, Brasil). Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico (Equação 2).

$$\text{Ácido cítrico (\% porcentagem por 100 g)} = \frac{V \times f \times 10}{m} \quad (2)$$

Na equação, a letra V corresponde ao volume (mL) de hidróxido de sódio utilizado na titulação. A letra f ao fator de correção da solução de hidróxido de sódio e a letra m, a massa da amostra em gramas.

### 2.6.6 Cor dos frutos e polpa ( $\Delta E^*$ , $h^*$ , $C^*$ )

As leituras de cor foram feitas na parte externa da juçara, em três frutos aleatórios de cada parcela e na polpa processada, em cinco pontos distintos das embalagens utilizadas no acondicionamento das amostras, logo após o processamento. Foi utilizado um colorímetro digital modelo CR-400 (Konica Minolta, Tóquio, Japão) para obtenção das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  do sistema Hunter. Após se obter as coordenadas, foram feitos os cálculos da diferença de cor ( $\Delta E^*$ ) (Equação 3), tonalidade de cor ( $h^*$ ) (Equação 4) e saturação de cor ( $C^*$ ) (Equação 5).

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (3)$$

$$h^* = \arctang\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (4)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (5)$$

Onde: a coordenada  $L^*$  mensura a intensidade do branco ao preto; a coordenada  $a^*$  do vermelho ao verde e a coordenada  $b^*$  do amarelo ao azul. As letras  $a_0$ ,  $b_0$  e  $L_0$  correspondem as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  obtidas no tempo 0. A diferença de cor ( $\Delta E^*$ ), do dia 0 foi calculada em relação aos valores médios de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , obtidos na caracterização inicial.

## **2.6.7 Compostos fenólicos e antioxidantes**

### **2.6.7.1 Preparo dos extratos**

No preparo dos extratos, foi feito a pesagem de 7 g da polpa de juçara processada em tubos falcon. O material foi centrifugado por 10 min em uma centrífuga modelo 5804R (Eppendorf, Hamburgo, Alemanha) a 5000 rpm de rotação e temperatura de 4°C. O material sobrenadante foi retirado para o preparo das diluições nas análises de compostos fenólicos e antioxidantes.

### **2.6.7.2 Compostos fenólicos totais (ácido gálico)**

Os compostos fenólicos totais foram determinados pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, através da oxidação de fenolatos em complexo azul Mo-W. Foi construída uma curva padrão com ácido gálico a 200 mg L<sup>-1</sup>. Em um tubo de ensaio foram adicionados 0,6 mL da solução padrão e 3 mL do reagente Folin-Ciocalteu, diluído na proporção de 1:10 em água destilada e 2,4 mL de carbonato de sódio 7,5%. As amostras foram mantidas em repouso por 1,0 hora em ambiente escuro. Após este período, as leituras de absorvância foram realizadas a 760 nm, em espectrofotômetro UV/VIS modelo UV-M51 (BEL, Piracicaba, Brasil). O mesmo procedimento foi feito utilizando polpa de açaí diluída em água destilada. Os compostos fenólicos foram determinados através da interpolação da absorvância contra a curva de calibração (25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 e 200 mg L<sup>-1</sup>). Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico mL<sup>-1</sup> de polpa.

### **2.6.7.3 Atividade antioxidante pelo método ABTS**

Foi analisado a capacidade de sequestro do radical livre de ABTS (2,2"-azino-bis/3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico). A atividade antioxidante pelo método ABTS teve como base uma curva de calibração (150, 130, 110, 90, 70, 50, 30 e 10 µM) construída com Trolox 200 µM. Durante as análises, eram adicionados 0,5 mL da solução de Trolox a 3,5 mL da solução estoque de ABTS. A mistura foi mantida em ambiente escuro por 6 min para formação do radical ABTS. O radical ABTS foi preparado com 10 mL de ABTS (7,0 mM) e 10 mL de persulfato de potássio (2,45 mM). Essa mistura foi aquecida em banho-maria a 50 °C por 15 minutos e diluída com álcool 80% até atingir absorvância de 0,700 ± 0,05 a 734

nm. As leituras de absorvância foram realizadas a 734 nm, em espectrofotômetro Multiscan skyhigh (Termo Fisher, San Jose, Estados Unidos). O mesmo procedimento foi aplicado a quatro diluições da amostra para gerar uma curva de amostra em álcool 80%. Os resultados foram expressos em Trolox  $\mu\text{M}/\text{mL}$  de polpa (Trolox: ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico).

#### 2.6.7.4 Atividade antioxidante pelo método FRAP

Na análise da atividade antioxidante pelo método FRAP, foi avaliado a capacidade de redução do complexo férrico-tripiridiltriazina ( $\text{FeIII-TPZ}$ ) em complexo ferroso ( $\text{FeII-TPZ}$ ). Foi construída uma curva padrão com solução de sulfato ferroso, utilizando concentrações de 500 a 2000  $\mu\text{M}$ . Alíquotas de 90  $\mu\text{L}$  da solução padrão foram misturadas com 270  $\mu\text{L}$  de água destilada e 2,7 mL de reagente FRAP. A solução FRAP era composta por 125 mL de tampão acetato 0,3 M; 12,5 mL de TPTZ 10 mM e 12,5 mL de cloreto férrico 20 mM. As misturas foram incubadas em banho-maria a 37 °C por 30 minutos. As leituras de absorvância foram feitas a 595 nm, em espectrofotômetro Multiscan skyhigh (Termo Fisher, San Jose, Estados Unidos). O mesmo procedimento foi realizado com quatro diluições da polpa de açaí em água destilada. Os resultados foram expressos em  $\text{Fe}^{2+}$   $\mu\text{M}/\text{ml}$  de polpa.

#### 2.6.7.5 Antocianinas totais

Nas análises de antocianinas totais, alíquotas de 2 a 3  $\mu\text{L}$  da polpa de juçara e 250  $\mu\text{L}$  de extrato de etanol HCl 1,5 N (85:15) v/v foram adicionadas em microplacas e em seguida foi feita a leitura das misturas a 535 nm, em espectrofotômetro Multiscan skyhigh (Termo Fisher, San Jose, Estados Unidos), considerando como válidos os valores que permaneceram na faixa de 0,200 a 0,800, respeitando se a Lei de Lambert-Beer. As antocianinas totais foram expressas em  $\text{g L}^{-1}$  e calculadas pela Equação 6.

$$C' = \frac{(A \times FD \times MM)}{(\epsilon \times b)} \quad (6)$$

Na Equação 6, a letra A corresponde a absorvância medida em 535 nm,  $\epsilon$  (26900M) indica o coeficiente molar de absorvidade das antocianinas presentes em maior concentração, cianidina 3-glicosídeo, C' representa a concentração de antocianinas em mg

$\text{mL}^{-1}$ , a letra b corresponde ao volume ocupado da cubeta (0,85cm/cm), FD ao fator de diluição da polpa e MM corresponde a massa molar da cianidina 3-glicosídeo ( $449,2 \text{ g mol}^{-1}$ ).

## **2.7 Análise estatística**

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) para avaliação dos efeitos dos tratamentos. O teste de Tukey foi aplicado a 5% de probabilidade para comparação dos tratamentos entre si, por meio do software estatístico Sisvar 5.6.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Qualidade microbiológica

Na Tabela 1, são apresentados os valores médios obtidos para mesófilos aeróbios, fungos filamentosos e leveduras ao longo do armazenamento. Foi observado efeito significativo ( $P < 0,05$ ) na interação entre tratamentos (T1 a T6) e tempos de armazenamento (0, 3 e 6 dias) para mesófilos aeróbios. As contagens de mesófilos aeróbios variaram entre 4,82 e 7,09 log (UFC g<sup>-1</sup>). Imediatamente após a ozonização no tempo 0, o tratamento com microbolhas de ozônio por 180 minutos (T4) apresentou a menor incidência bacteriana, com redução de 0,75 ciclos log em relação ao controle.

Ao comparar os tratamentos com microbolhas de ozônio de 90 e 180 minutos (T3 e T4) até o terceiro dia de armazenamento (dia 3), constatou-se que o aumento do tempo de exposição de 90 para 180 minutos resultou em menor incidência de mesófilos aeróbios, com T3 = 5,56 log (UFC g<sup>-1</sup>) e T4 = 4,82 log (UFC g<sup>-1</sup>) no dia 0 e T3 = 6,39 log (UFC g<sup>-1</sup>) e T4 = 5,77 log (UFC g<sup>-1</sup>) no dia 3. No entanto, a eficácia do ozônio diminuiu no sexto dia de armazenamento (dia 6), verificando-se um comportamento inverso entre os tratamentos, com T3 = 6,60 log (UFC g<sup>-1</sup>) e T4 = 6,82 log (UFC g<sup>-1</sup>). Tendência semelhante foi observada entre os tratamentos de microbolhas isentas de ozônio (T5 e T6) ao longo do armazenamento: T5 = 5,62 log (UFC g<sup>-1</sup>) e T6 = 5,46 log (UFC g<sup>-1</sup>) no dia 0; T5 = 6,11 log (UFC g<sup>-1</sup>) e T6 = 5,59 log (UFC g<sup>-1</sup>) no dia 3; e T5 = 6,78 log (UFC g<sup>-1</sup>) e T6 = 7,09 log (UFC g<sup>-1</sup>) no dia 6.

Além disso, efeitos significativos ( $P < 0,05$ ) também foram verificados para fungos filamentosos e leveduras, na interação entre tratamentos (T1 a T6) e tempos de armazenamento. No tempo 0, os tratamentos com microbolhas de ozônio (T3 e T4) apresentaram os menores valores, com 3,74 e 2,42 log (UFC g<sup>-1</sup>), respectivamente. Em comparação ao tratamento controle (T1), as reduções para os tratamentos com microbolhas de ozônio de 90 e 180 minutos (T3 e T4) foram de 0,30 e 1,62 ciclos log.

Nos tratamentos com microbolhas isentas de ozônio (T5 e T6), as reduções significativas foram observadas apenas com a exposição de 180 minutos (T6) no tempo 0, resultando em um valor médio de 3,90 log (UFC g<sup>-1</sup>). No terceiro dia de armazenamento, todos os tratamentos apresentaram valores próximos a 4,00 log (UFC g<sup>-1</sup>). Ao final do armazenamento (dia 6), notou-se que a exposição dos frutos a microbolhas, com e sem a presença de ozônio por 180 minutos (T4 e T6), resultou nos maiores valores médios de fungos filamentosos e leveduras, sendo 6,27 e 5,16 log (UFC g<sup>-1</sup>) para T4 e T6, respectivamente.

**Tabela 1.** Valores médios obtidos para mesófilos aeróbios e fungos filamentosos e leveduriformes em frutos de *E. edulis* ozonizados, para cada tratamento avaliado ao longo do armazenamento.

Mesófilos aeróbios log (UFC g <sup>-1</sup> )				Fungos filamentosos e leveduras log (UFC g <sup>-1</sup> )			
Armazenamento (dias)				Armazenamento (dias)			
Tratamento	0	3	6	Tratamento	0	3	6
T1	5,57 ± 0,26 Ab	5,83 ± 0,40 Ab	6,73 ± 0,33 Aa	T1	4,04 ± 0,34 ABa	4,30 ± 0,42 Aa	4,68 ± 0,18 Aa
T2	5,44 ± 0,10 Ab	5,82 ± 0,45 Aab	6,28 ± 0,23 Aa	T2	4,10 ± 0,02 Aa	4,29 ± 0,26 Aa	4,89 ± 0,19 Aa
T3	5,56 ± 0,12 Ab	6,39 ± 0,37 Aa	6,60 ± 0,63 Aa	T3	3,74 ± 0,10 ABa	4,65 ± 0,56 Aa	4,92 ± 0,48 Aa
T4	4,82 ± 0,09 Ac	5,77 ± 0,48 Ab	6,82 ± 0,21 Aa	T4	2,42 ± 2,10 Ba	4,27 ± 0,50 Ab	6,27 ± 1,05 Ac
T5	5,62 ± 0,17 Ab	6,11 ± 0,41 Ab	6,78 ± 0,55 Aa	T5	4,04 ± 0,16 ABa	3,84 ± 0,24 Aa	4,68 ± 0,34 Aa
T6	5,46 ± 0,20 Ab	5,59 ± 0,17 Ab	7,09 ± 0,14 Aa	T6	3,90 ± 0,19 ABa	4,89 ± 0,98 Aa	5,16 ± 0,49 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1-Controle; T2-Clorin/15 min; T3-Microbolhas de ozônio/90 min; T4-Microbolhas de ozônio/180 min; T5-Microbolhas isentas de ozônio/90 min; T6-Microbolhas isentas de ozônio/180 min.

## 3.2 Qualidade físico-química

### 3.2.1 Perda de massa fresca, sólidos solúveis totais, pH e acidez total titulável

Na Tabela 2, tem-se as médias obtidas para perda de massa fresca (%), sólidos solúveis totais (°Brix), pH e acidez total titulável (%). Com exceção da perda de massa fresca, foram observados efeitos significativos ( $P < 0,05$ ) na interação entre tratamentos (T1 a T6) e tempos de armazenamento (dias 0, 3 e 6) para todas as variáveis analisadas. O controle (T1) demonstrou a maior diminuição percentual de massa no terceiro (0,42%) e sexto dia de armazenamento (0,55%). O tratamento com Clorin (T2) apresentou os menores percentuais, sendo de 0,10% no terceiro dia e 0,24% no sexto dia. Os valores de perda de massa fresca nos tratamentos com microbolhas isentas de ozônio (T5 e T6) foram ligeiramente inferiores aos observados para microbolhas enriquecidas com ozônio (T3 e T4). Todos os tratamentos apresentaram perdas inferiores a 0,50% no sexto dia, exceto o controle (T1).

Para os sólidos solúveis totais, foram observadas reduções nos valores de °Brix imediatamente após o tratamento no tempo 0. Neste tempo de armazenamento, os valores estiveram na faixa de 3,50 e 3,70 °Brix, exceto o controle (T1), que foi de 3,93 °Brix. No terceiro dia, o controle (T1) passou a ser o tratamento com o menor teor de sólidos solúveis totais na polpa, atingindo 3,33 °Brix. No terceiro e sexto dia de armazenamento, o teor de sólidos solúveis totais, variou de 3,30 a 3,80 °Brix, entre os diferentes tratamentos.

Quanto ao pH, houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) na interação entre tratamentos e tempos de armazenamento, sobre essa variável. No tempo zero, os valores de pH variaram de 4,33 a 4,60. No terceiro dia de armazenamento, foram observados aumentos nos valores de pH, permanecendo próximos de 5,00. Ao final do armazenamento (dia 6), todos os valores foram iguais ou superiores a 5,00. Ao longo do armazenamento, a diferença de pH entre os tratamentos foi inferior a 6,3%.

A acidez total titulável também foi afetada significativamente ( $P < 0,05$ ) pela interação entre tratamentos e tempos de armazenamento. Os menores valores de acidez total titulável foram observados ao final do armazenamento (dia 6), para os tratamentos de microbolhas isentas de ozônio (T5 e T6), que apresentaram percentuais de 0,28% e 0,26% de ácido cítrico, nos tempos de 90 min (T5) e 180 min (T6), respectivamente. Por outro lado, os tratamentos com microbolhas de ozônio (T3 e T4) implicaram em uma variação de no máximo 8% de ácido cítrico, em relação ao controle.

**Tabela 2.** Valores médios obtidos para perda de massa fresca, sólidos solúveis totais, pH e acidez total titulável, em frutos de *E. edulis* ozonizados, para cada tratamento avaliado ao longo do armazenamento.

Armazenamento (dias)				Armazenamento (dias)			
Perda de massa fresca (%)				Sólidos solúveis totais (°Brix)			
Tratamento	0	3	6	Tratamento	0	3	6
T1	-	0,42 ± 0,03 Aa	0,55 ± 0,05 Aa	T1	3,93 ± 0,25Aa	3,33 ± 0,42 Ab	3,73 ± 0,25 Aa
T2	-	0,10 ± 0,05 Ba	0,24 ± 0,08 Ba	T2	3,53 ± 0,21 ABa	3,80 ± 0,20 Aa	3,73 ± 0,06 Aa
T3	-	0,23 ± 0,28 ABa	0,40 ± 0,23 ABa	T3	3,60 ± 0,10 ABa	3,60 ± 0,10 Aa	3,43 ± 0,21 Aa
T4	-	0,27 ± 0,03 ABa	0,44 ± 0,03 ABa	T4	3,63 ± 0,06 ABa	3,43 ± 0,12 Aa	3,60 ± 0,17 Aa
T5	-	0,15 ± 0,05 ABb	0,36 ± 0,06 ABa	T5	3,43 ± 0,06 Ba	3,70 ± 0,10 Aa	3,50 ± 0,20 Aa
T6	-	0,12 ± 0,10 ABb	0,39 ± 0,08 ABa	T6	3,67 ± 0,25 ABa	3,40 ± 0,00 Aa	3,30 ± 0,20 Aa
Tratamento			Potencial hidrogeniônico (pH)	Tratamento			Acidez total titulável (%)
T1	4,50 ± 0,00 Bc	5,00 ± 0,00 Ab	5,10 ± 0,00 Aa	T1	0,38 ± 0,01 Ab	0,48 ± 0,01 Aa	0,35 ± 0,03 Bb
T2	4,60 ± 0,00 Ac	4,90 ± 0,06 Bb	5,00 ± 0,00 Ba	T2	0,36 ± 0,01 Ab	0,49 ± 0,03 Aa	0,31 ± 0,03 ABb
T3	4,50 ± 0,00 Bc	4,93 ± 0,00 Bb	5,10 ± 0,00 Aa	T3	0,37 ± 0,01 Ab	0,52 ± 0,02 Aa	0,33 ± 0,01 ABb
T4	4,50 ± 0,00 Bc	5,00 ± 0,00 Ab	5,10 ± 0,00 Aa	T4	0,37 ± 0,01 Ab	0,49 ± 0,03 Aa	0,34 ± 0,03 Bb
T5	4,60 ± 0,00 Ac	5,00 ± 0,00 Ab	5,10 ± 0,00 Aa	T5	0,34 ± 0,01 Ab	0,50 ± 0,01 Aa	0,28 ± 0,04 ABc
T6	4,33 ± 0,06 Cc	5,00 ± 0,00 Ab	5,13 ± 0,06 Aa	T6	0,37 ± 0,00 Ab	0,52 ± 0,03 Aa	0,26 ± 0,06 Ac

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1-Controle; T2-Clorin/15 min; T3-Microbolhas de ozônio/90 min; T4-Microbolhas de ozônio/180 min; T5-Microbolhas isentas de ozônio/90 min; T6-Microbolhas isentas de ozônio/180 min.

### 3.2.2 Cor dos frutos e polpa

Na Tabela 3, parte 1 e 2, tem-se os valores médios para as variáveis de cor dos frutos e da polpa ao longo do armazenamento. Para as variáveis de cor dos frutos (Dif\*, h\* e C\*) não foram observados efeitos significativos ( $P>0,05$ ) na interação entre tratamentos (T1 a T6) e tempos de armazenamento (0, 3 e 6 dias). Em relação as variáveis de cor da polpa (Dif\*, h\* e C\*), só foram observados efeitos significativos ( $P<0,05$ ) na interação entre tratamentos (T1 a T6) e tempos de armazenamento (0, 3 e 6 dias), quando se analisou a diferença de cor da polpa.

Considerando-se a diferença de cor dos frutos no tempo zero, todos os tratamentos (T1 a T6) foram superiores a 8,00 em comparação aos valores médios de L\*, a\*, b\* obtidos na caracterização inicial. Durante o armazenamento, o tratamento com microbolhas de ozônio por 180 minutos (T4) apresentou a menor diferença de cor no terceiro dia de armazenamento (4,66 Dif\*). No sexto dia de armazenamento, o tratamento com microbolhas de ozônio por 90 minutos (T3) foi o que apresentou a menor média (3,39 Dif\*). Quanto à tonalidade dos frutos (h\*), o tratamento que mais se distanciou do controle (T1) em termos de tonalidade foi o de microbolhas de ozônio por 180 min (T4), que apresentou um valor de 285,15, enquanto o controle teve tonalidade de 136,38.

Quanto às variáveis de cor da polpa, a interação entre tratamentos (T1 a T6) e tempos de armazenamento (0, 3 e 6 dias) só implicou em efeito significativo ( $P<0,05$ ) na diferença de cor (Dif\*). Nessa variável, as menores diferenças de cor da polpa foram observadas nos tratamentos com microbolhas de ozônio por 180 min (1,26 Dif\*) e clorin (1,39 Dif\*), seis dias após o armazenamento. A tonalidade da polpa em frutos tratados com microbolhas de ozônio por 180 minutos (T4) foi a que mais se distanciou do controle (T1) imediatamente após a ozonização no tempo 0. Além disso, o tratamento com microbolhas de ozônio por 180 minutos (T4), teve a menor diferença de tonalidade entre o tempo 0 e o terceiro dia de armazenamento (2,48) e entre o tempo 0 e o sexto dia de armazenamento (0,87).

**Tabela 3, parte 1.** Valores médios obtidos para diferença de cor e tonalidade de cor, em frutos e polpa de *E. edulis* ozonizados, para cada tratamento avaliado ao longo do armazenamento.

Armazenamento (dias)				Armazenamento (dias)			
Diferença de cor dos frutos (Dif*)				Diferença de cor da polpa (Dif*)			
Trat.	0	3	6	Trat.	0	3	6
T1	13,11 ± 3,16	5,32 ± 1,80	3,52 ± 0,43	T1	2,01 ± 0,49 ABa	2,00 ± 0,36 Aa	2,03 ± 0,59 ABa
T2	9,17 ± 3,67	5,12 ± 0,81	5,03 ± 0,44	T2	3,35 ± 1,79 Aa	1,59 ± 0,85 Ab	1,39 ± 0,12 ABb
T3	9,81 ± 0,77	4,96 ± 0,53	3,39 ± 1,81	T3	1,28 ± 0,64 Ba	0,96 ± 0,39 Aa	1,84 ± 1,49 ABa
T4	10,06 ± 2,25	4,66 ± 1,85	3,40 ± 2,04	T4	1,45 ± 0,49 Ba	1,20 ± 0,45 Aa	1,26 ± 0,70 Ba
T5	8,02 ± 0,70	5,30 ± 2,13	6,12 ± 2,28	T5	1,04 ± 0,30 Ba	1,38 ± 0,52 Aa	1,78 ± 0,31 ABa
T6	8,89 ± 1,47	4,96 ± 1,81	5,65 ± 1,05	T6	1,19 ± 0,48 Bb	2,56 ± 0,70 Aa	3,14 ± 0,90 Aab
Trat.	Tonalidade de cor dos frutos (h*)			Trat.	Tonalidade de cor da polpa (h*)		
T1	136,38 ± 97,58	80,53 ± 32,82	123,59 ± 24,17	T1	4,90 ± 3,32	7,73 ± 0,33	7,95 ± 0,94
T2	200,93 ± 107,59	103,50 ± 40,69	197,21 ± 81,12	T2	4,11 ± 1,11	7,10 ± 1,94	6,78 ± 1,14
T3	236,99 ± 32,91	78,03 ± 15,96	141,40 ± 27,51	T3	3,77 ± 0,48	7,51 ± 1,12	5,95 ± 0,89
T4	285,15 ± 37,85	121,09 ± 11,42	130,06 ± 38,97	T4	7,34 ± 0,89	9,82 ± 0,69	8,21 ± 0,15
T5	143,26 ± 52,01	109,39 ± 64,12	147,80 ± 60,37	T5	5,20 ± 0,95	8,03 ± 1,73	9,06 ± 0,68
T6	209,14 ± 44,61	98,01 ± 22,38	152,98 ± 32,31	T6	5,47 ± 2,11	9,24 ± 0,65	6,42 ± 0,29

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1-Controle; T2-Clorin/15 min; T3-Microbolhas de ozônio/90 min; T4-Microbolhas de ozônio/180 min; T5-Microbolhas isentas de ozônio/90 min; T6-Microbolhas isentas de ozônio/180 min.

**Tabela 3, parte 2.** Valores médios obtidos para saturação de cor, em frutos e polpa de *E. edulis* ozonizados, para cada tratamento avaliado ao longo do armazenamento.

Trat.	Armazenamento (dias)			Trat.	Armazenamento (dias)		
	Saturação de cor dos frutos (C*)				Saturação de cor da polpa (C*)		
T1	0,41 ± 0,05	0,72 ± 0,57	0,92 ± 0,94	T1	1,51 ± 0,10	1,54 ± 0,17	1,63 ± 0,10
T2	0,32 ± 0,04	0,84 ± 0,49	0,37 ± 0,05	T2	1,80 ± 0,11	1,63 ± 0,20	1,44 ± 0,08
T3	0,39 ± 0,17	0,42 ± 0,06	0,38 ± 0,06	T3	1,63 ± 0,07	1,52 ± 0,11	1,73 ± 0,10
T4	0,38 ± 0,12	0,50 ± 0,25	0,43 ± 0,05	T4	1,71 ± 0,21	1,67 ± 0,11	1,54 ± 0,05
T5	0,29 ± 0,09	0,60 ± 0,41	0,45 ± 0,12	T5	1,81 ± 0,13	1,45 ± 0,25	1,97 ± 0,69
T6	0,57 ± 0,24	0,48 ± 0,04	0,36 ± 0,21	T6	1,61 ± 0,21	1,64 ± 0,31	1,72 ± 0,19

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1-Controle; T2-Clorin/15 min; T3-Microbolhas de ozônio/90 min; T4-Microbolhas de ozônio/180 min; T5-Microbolhas isentas de ozônio/90 min; T6-Microbolhas isentas de ozônio/180 min.

### 3.2.3 Compostos fenólicos e antioxidantes

Tem-se, na Tabela 4, os valores médios encontrados para compostos fenólicos totais, antocianinas e antioxidantes (ABTS e FRAP). Foram observados efeitos significativos ( $P < 0,05$ ) na interação entre tratamentos (T1 a T6) e tempos de armazenamento (0, 3 e 6 dias), para todas as variáveis analisadas. Imediatamente após a ozonização no tempo 0, foram encontrados decréscimos nos valores de compostos fenólicos totais para todos os tratamentos em relação as amostras controle. Ao longo do armazenamento (dias 3 e 6), o tratamento clorin (T2), resultou em maiores valores médios de compostos fenólicos totais (6,95 e 6,13 mg de ácido gálico em 100 g<sup>-1</sup> de polpa, dias 3 e 6, respectivamente). É importante ressaltar que os tratamentos com microbolhas de ozônio por 90 e 180 min (T3 e T4) apresentaram quantificações de compostos fenólicos totais inferiores ao controle no tempo 0 e aos seis dias de armazenamento, além de terem quantidades de compostos fenólicos inferiores às polpas de frutos tratados com clorin (T2), em todos os tempos de armazenamento (0, 3 e 6 dias).

Imediatamente após o tratamento dos frutos, foi observado uma maior concentração de antocianinas no clorin (1,34 mg por mL de polpa). Entretanto, no terceiro dia de armazenamento, as polpas tratadas com microbolhas de ozônio por 180 minutos (T4) retornaram o maior valor médio de antocianinas (1,34 mg por mL de polpa). No sexto dia de armazenamento, os tratamentos com microbolhas de ozônio por 90 minutos (T3) e clorin (T2) apresentaram as maiores concentrações, ambas com 1,80 mg por mL de polpa.

Em relação à capacidade antioxidante analisada pelo método ABTS, o tratamento com ozônio por 180 minutos (T4) foi o que apresentou os maiores valores no tempo 0 e aos seis dias de armazenamento, com a capacidade antioxidante desse tratamento superior em pelo menos 70  $\mu\text{M}$  equivalente de Trolox/mL de polpa, em relação ao clorin (T2) e controle (T1). A capacidade antioxidante avaliada pelo método FRAP, exibiu valores entre 102,25 e 183,04  $\mu\text{M}$  equivalente de Fe<sup>2+</sup>/mL de polpa no tempo 0. Destaca-se que no tratamento com microbolhas de ozônio por 180 minutos (T4) não foi obtido nenhum valor inferior ao controle (T1), em nenhum dos tempos de armazenamento (0, 3 e 6 dias). O tratamento T4 apresentou o maior teor de antioxidantes, com 155,23  $\mu\text{M}$  equivalente de Fe<sup>2+</sup>/mL de polpa.

**Tabela 4.** Valores médios obtidos para compostos fenólicos totais (ácido gálico), antocianinas totais (equivalente cianidina 3-glicosídeo) e antioxidantes totais (ABTS e FRAP), em frutos de *E. edulis* ozonizados, para cada tratamento avaliado ao longo do armazenamento.

Armazenamento (dias)				Armazenamento (dias)			
Compostos fenólicos totais (ácido gálico)				Antocianinas totais (cianidina 3-glicosídeo)			
Trat.	0	3	6	Trat.	0	3	6
T1	6,50 ± 0,03 Aa	5,68 ± 0,05 Dc	6,01 ± 0,14 Ab	T1	1,25 ± 0,06 ABc	1,42 ± 0,02 Cb	1,55 ± 0,01 Ba
T2	5,92 ± 0,06 Bc	6,95 ± 0,04 Aa	6,13 ± 0,07 Ab	T2	1,34 ± 0,27 Ac	1,53 ± 0,01 Bb	1,80 ± 0,02 Aa
T3	5,61 ± 0,09 DEc	6,33 ± 0,08 Ba	5,78 ± 0,03 Bb	T3	1,21 ± 0,05 BCb	1,81 ± 0,01 Aa	1,80 ± 0,03 Aa
T4	5,51 ± 0,05 Ec	6,08 ± 0,10 Ca	5,70 ± 0,09 Bb	T4	1,20 ± 0,01 BCc	1,84 ± 0,01 Aa	1,51 ± 0,09 BCb
T5	5,70 ± 0,06 CDb	6,47 ± 0,04 Ba	5,74 ± 0,05 Bb	T5	1,13 ± 0,10 Cc	1,76 ± 0,02 Aa	1,55 ± 0,07 Bb
T6	5,85 ± 0,06 BCa	5,66 ± 0,01 Db	5,12 ± 0,08 Cc	T6	1,20 ± 0,01 BCb	1,51 ± 0,03 BCa	1,43 ± 0,06 Ca
Antioxidantes totais por ABTS (Trolox)				Antioxidantes totais por FRAP (Fe <sup>2+</sup> )			
Trat.	0	3	6	Trat.	0	3	6
T1	927,38 ± 121,42 Ba	472,26 ± 5,00 Bb	487,94 ± 5,19 Ab	T1	129,84 ± 1,76 BCa	108,76 ± 4,31 Ba	126,48 ± 2,16 ABa
T2	609,21 ± 81,06 Ca	460,72 ± 0,61 Bb	507,75 ± 7,87 Aab	T2	143,18 ± 23,62 ABCa	114,30 ± 10,84 Ba	67,10 ± 1,70 Cb
T3	626,88 ± 93,39 Cab	724,55 ± 112,84 Aa	507,75 ± 7,88 Ab	T3	159,36 ± 18,92 ABa	116,55 ± 31,18 Bb	105,17 ± 4,26 BCb
T4	1465,53 ± 160,34 Aa	649,38 ± 9,46 Ab	583,63 ± 4,23 Ab	T4	135,07 ± 32,11 BCa	168,24 ± 38,36 Aa	155,23 ± 1,11 Aa
T5	713,48 ± 49,64 Ca	773,83 ± 42,12 Aa	565,33 ± 0,15 Ab	T5	102,25 ± 17,57 Cb	191,52 ± 1,16 Aa	127,62 ± 4,42 ABb
T6	669,38 ± 11,61 Ca	476,60 ± 2,41 Bb	508,24 ± 3,34 Ab	T6	183,04 ± 7,54 Aa	106,33 ± 16,27 Bb	127,31 ± 7,59 ABb

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Tratamentos: T1-Controle; T2-Clorin/15 min; T3-Microbolhas de ozônio/90 min; T4-Microbolhas de ozônio/180 min; T5-Microbolhas isentas de ozônio/90 min; T6-Microbolhas isentas de ozônio/180 min.

#### 4. DISCUSSÃO

Neste trabalho, buscou-se investigar a ação do ozônio na redução da carga microbiana em frutos de juçara e seus efeitos em relação as características físico-químicas do produto. O ozônio vem se destacando como um sanitizante eficiente para redução da carga microbiana em diversos estudos com frutas (Pandiselvam et al., 2019). Ao ser aplicado, o ozônio não gera resíduos tóxicos, degradando-se em oxigênio, e por se tratar de um produto com alto poder oxidativo, torna-se um poderoso agente microbiano (Ribeiro et al., 2017). Sua eficácia depende de diversos fatores como temperatura, pH e características do produto (Aslam; Alam; Saeed, 2020).

O ozônio atua na sanitização de diversos materiais e superfícies, sendo que seu mecanismo de ação principal está associado a oxidação de compostos celulares de fungos e bactérias (Epelle et al., 2024), em especial dos fosfolipídeos, com a oxidação de lipídios na parede celular e degradação de proteínas (Ji et al., 2012). Esse processo torna as membranas celulares mais permeáveis e resulta no rompimento do envoltório celular, dispersão do citoplasma e de materiais genéticos como DNA e RNA (Huang et al., 2024). Quando aplicado por meio aquoso, a inativação e morte dos microrganismos ocorre pela presença dos radicais livres na água de tratamento, como a hidroxila ( $\text{OH}^-$ ), a hidroperoxila ( $\text{HO}_2$ ) e o superóxido ( $\text{O}_2^-$ ) (Manousaridis et al., 2005).

Por ter um tempo de meia vida curto e não gerar ação residual, os efeitos do ozônio na redução da carga microbiana têm sido observados imediatamente após o tratamento. Essa tendência foi observada no presente trabalho, em que o tratamento com ozônio por 180 min (T4), gerou uma redução significativa na contagem de fungos filamentosos e leveduras no tempo 0. Todavia, ao longo do armazenamento, os frutos apresentaram contagens de microrganismos similares às do controle (T1). Segundo He et al., (2025), em sua pesquisa com frutos de nêspera chinesa, para obter efeitos mais relevantes na redução de carga microbiana durante o armazenamento, é necessário realizar uma aplicação contínua ou intermitente de água ozonizada durante o armazenamento dos frutos.

Em relação a legislação vigente para polpa de frutas “in natura” o máximo permitido para bolores e leveduras é de  $5 \times 10^3$  UFC/grama (aproximadamente 3,7 na escala log) (Brasil, 2022). Desta forma, apenas o tratamento com microbolhas de ozônio durante 180 min gerou um resultado satisfatório no primeiro dia avaliativo, o que não se manteve no caso dos dias subsequentes, em que o produto foi armazenado, tendo a carga microbiana se elevado acima do permitido para este tipo de produto.

Quanto aos mesófilos aeróbios, na legislação brasileira (Brasil, 2022), não há um limite estabelecido, sendo os limites apenas no tocante a *Salmonella* e *Escherichia*. Em polpa de frutas é exigido ausência de *Salmonella* spp em 25 g de produto. Salienta-se que a contaminação microbiana se deve as mesmas características que a juçara compartilha com o açaí, sendo que segundo Rogez (2012), a alta contaminação dos frutos de açaí por microrganismos se deve as características físico-químicas do produto, como, pH pouco ácido, além do manuseio inadequado durante as etapas de colheita e remoção dos frutos do cacho, o que ocasiona perdas de qualidade.

Considerando-se os aspectos qualitativos, de variáveis como pH, sólidos solúveis, perda de massa e acidez titulável, não foi apresentada diferença entre os tratamentos e o controle, sendo que o fator que mais contribuiu para as perdas qualitativas neste caso, foi o tempo de armazenamento. Foi possível perceber um aumento no pH e diminuição da acidez titulável ao longo do armazenamento. O aumento nos valores de pH também foi observado em morangos tratados com gás ozônio durante 30 minutos em concentrações de 0, 4, 9, 14 e 18 mg/L e armazenados por seis dias em ambiente refrigerado a 5°C e 75% de umidade relativa (Alves et al., 2019).

Compostos fenólicos e flavonoides estão presentes nos frutos de juçara, sendo indicadores de qualidade. Os frutos sujeitos a maior incidência solar, como os dessa espécie, tendem a ter maior concentração destes compostos que surgem como forma de resposta à radiação (Borges et al., 2011). Considerando-se os compostos fenólicos, houve um incremento na concentração em relação ao tempo zero durante o armazenamento dos frutos ozonizados por 90 e 180 min (T3 e T4), sendo os teores de compostos fenólicos encontrados para o terceiro e sexto dia de armazenamento superiores aos do tempo zero. Quanto ao tratamento controle, o teor de compostos fenólicos diminuiu durante todo o período de armazenamento. Tal comportamento também foi observado por Nayak et al., (2020), durante um trabalho realizado com morangos tratados com água ozonizada, os frutos foram submersos em solução contendo 0,1 mg de ozônio/litro de água por tempos de 1 a 4 minutos e em seguida armazenados, parte a temperatura ambiente e parte refrigerado a 2°C e 90% de umidade relativa. O ozônio promove a manutenção e o aumento de compostos fenólicos em frutos tratados devido à sua capacidade de induzir uma resposta de estresse controlado, que ativa vias metabólicas e enzimas específicas de biossíntese de fenólicos. Essa resposta aumenta a resistência antioxidante dos frutos, contribuindo para sua qualidade nutricional e durabilidade durante o armazenamento.

Em relação a atividade antioxidante por ABTS, todos tratamentos avaliados no presente estudo (T1 a T6) apresentaram valores superiores aos apresentados por Pereira et al., (2020) (458,68  $\mu\text{M}$  equivalente Trolox/ml) para frutos frescos de *Euterpe edulis*. Depois de três e seis dias de armazenamento, em especial para o controle, o valor de antioxidante por ABTS se aproxima dos valores descritos por Pereira et al. (2020). O fato de o ozônio ter características oxidantes estimula a liberação de compostos que neutralizam os radicais. Esse comportamento foi observado por Piechowiak et al., (2020), em seu estudo com mirtilos, estes foram tratados com gás contendo 15 ppm de ozônio por 30 minutos a cada 12 horas durante todo período de armazenamento. Resultado similar também foi verificado no presente trabalho para os frutos ozonizados por 180 min (T4), que apresentou uma maior capacidade antioxidante em relação aos outros tratamentos (T1, T2, T3, T5, T6).

Analisando-se os teores de antocianinas na polpa, os valores obtidos neste estudo (1130 a 1840 mg cianidina 3-glicosídeo/Litro de polpa) foram maiores aos apresentados por Silva et al., (2013), para polpa de frutos extraída na proporção de duas partes de frutos para uma de água. Esses autores obtiveram teores médios de antocianinas de até 667,05 mg cianidina 3-glicosídeo/L de polpa. O teor de antocianinas dos frutos ozonizados apresentou, no tempo 0, leve redução em relação aos frutos controle, com uma diferença inferior a 4%. O tratamento com ozônio diretamente nos frutos não é tão intenso para as antocianinas em comparação ao processo de aplicação em suco ou polpa processada. Em trabalhos com suco de uva e morango, Tiwari et al., (2009) demonstraram que houve redução no tocante as antocianinas e consequente degradação da cor do produto, o que não foi observado no presente trabalho, ao se analisar a polpa proveniente de frutos ozonizados.

Considerando-se que as espécies do gênero *Euterpe* spp. têm sido utilizadas comercialmente para produção de polpas, há dois trabalhos que tratam sobre utilização de ozônio em frutos de *Euterpe oleracea* (Bezerra et al. 2016 e 2017), avaliando-se a efetividade na redução da carga microbiana e os efeitos na qualidade e sabor do produto. No trabalho de Bezerra et al., (2017), foi verificada redução de 48,4% na concentração de antocianinas ao se comparar o tratamento com cloro e água ozonizada. Porém, no presente trabalho foi observada uma redução de apenas 10,45% para os frutos ozonizados durante 90 min e de 9,70% para os frutos ozonizados por 180 min, em relação ao cloro no tempo zero. No terceiro dia de armazenamento, os teores de antocianinas nos frutos submetidos a ozonização superaram os que passaram por tratamento com cloro. O aumento na quantidade de antocianinas nos frutos ozonizados durante o armazenamento também foi observado por Zheng et al., (2023), em seu trabalho com nectarinas. Os frutos armazenados após sofrerem

ozonização e tratamento com 1-metilciclopropeno tiveram um incremento no teor de antocianinas se comparado com a concentração inicial.

A aplicação de ozônio na sanitização dos frutos de juçara por meio aquoso, utilizando sistema de microbolhas é uma tecnologia promissora, tendo diversas vantagens no tocante à sustentabilidade e à redução da contaminação por derivados clorados. No entanto, em espécies mais sensíveis, ou destinadas ao consumo *in natura*, o uso de microbolhas na sanitização também deve levar em conta a resistência da casca e a sensibilidade do fruto ao tratamento, considerando-se a capacidade das microbolhas em danificar a epiderme. Isso foi observado por exemplo em acerola, cujo a água ozonizada em sistema de microbolhas por tempos de 20 a 60 min, provocou danificações na superfície das frutas, comprometendo à qualidade visual (Magalhães et al., 2025).

Outro desafio ao empregar essa tecnologia é o tempo de ozonização necessário para alcançar uma sanitização eficiente. Em alguns casos, o tempo de exposição pode ser até dez vezes maior do que o tratamento convencional com cloro, fato que foi observado no presente trabalho e que pode impactar a viabilidade operacional em escala de agroindústria. Diante disso, recomenda-se a realização de estudos adicionais para otimizar os protocolos de ozonização, incluindo ajustes na concentração de ozônio, no tempo de exposição e na forma de aplicação, devendo sempre priorizar a eficiência na redução de carga microbiana e manutenção da qualidade dos frutos.

## 5. CONCLUSÕES

Os tratamentos de água ozonizada em sistema de microbolhas se mostraram eficientes para sanitização dos frutos de *E. edulis* imediatamente após a ozonização. A imersão dos frutos por 180 min reduziu as contagens bacterianas e tanto o tempo de 90 min, como o de 180 min, reduziram a incidência fúngica nos frutos de Juçara, sendo o tratamento por 180 min mais eficiente e o único que reduziu a carga fúngica a níveis aceitos pela legislação. A água ozonizada em sistema de microbolhas também preservou a qualidade físico-química dos frutos ao longo do armazenamento e características de importância nutricional, como fenólicos, antocianinas e antioxidantes, destacando suas vantagens para prolongar a vida útil dos frutos sem comprometer a qualidade. Concluiu-se que a água ozonizada em sistema de microbolhas é uma alternativa eficiente para desinfecção dos frutos de *E. edulis* e manutenção da qualidade pós-colheita, demonstrando seu potencial como alternativa sustentável aos métodos tradicionais de sanitização de frutos para produção de polpa.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, F.; MENEZES, V.; ROGEZ, H. Spontaneous postharvest fermentation of açai (*Euterpe oleracea*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 86, p. 294-299, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.015>
- ALESSANDRA-PERINI, J.; MACHADO, D. E.; PALMERO, C. Y.; CLAUDINO, M. C.; MOURA, R. S.; PALUMBO JÚNIOR, A.; PERINI, J. A.; NASCIUTTI, L. E. *Euterpe oleracea* extract (açai) exhibits cardioprotective effects after chemotherapy treatment in a breast cancer model. **BMC Complementary Medicine and Therapies**, v. 23, n. 301, 2023. <https://doi.org/10.1186/s12906-023-04104-7>
- ALVES, H.; DE ALENCAR, E. R.; DE SOUZA FERREIRA, W. F.; DA SILVA, C. R.; RIBEIRO, J. L. Microbiological and physical-chemical aspects of strawberry exposed to ozone gas at different concentrations during storage. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.00218>
- AMORIM, D. S.; AMORIM, I. S.; CHISTÉ, R. C.; FERNANDES, F. A. N.; MARIUTTI, L. R. B.; GODOY, H. T.; MENDONÇA, C. R. B. Non-thermal technologies for the conservation of açai pulp and derived products: A comprehensive review. **Food Research International**, v. 174, n. 1, Artigo 113575, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113575>
- ASLAM, R., ALAM, M. S., & SAEED, P. A. Sanitization Potential of Ozone and Its Role in Postharvest Quality Management of Fruits and Vegetables. **Food Engineering Reviews**, Vol. 12, Issue 1, pp. 48–67, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09204-0>
- BAGGIO, K. A.; GIEHL, E. L. H.; CANDIDO-JUNIOR, J. F. Population structure, aggregation, and dispersal of *Euterpe edulis* Mart. at two sites of interior Atlantic Forest. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, n. 3, 2023. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320220695>
- BARTHWAL, R.; NEGI, A.; KATHURIA, D.; SINGH, N. Ozonation: Post-harvest processing of different fruits and vegetables enhancing and preserving the quality. **Food Chemistry**, v. 463, n. 4, Artigo 141489, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141489>
- BATISTA, C. R.; FROEHLICH, A. Microbiological evaluation of açai pulp sold in the city of Maceió - AL. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 6, n. 4, p. 8375-8386, 2023. <https://doi.org/10.34119/bjhrv6n4-001>
- BEZERRA, V.; FREITAS-SILVA, O.; DAMASCENO, L.; MAMEDE, A.; CABRAL, L. Sensory analysis and consumers studies of açai beverage after thermal, chlorine and ozone treatments of the fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 41, 2016. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12961>
- BEZERRA, V. S.; WALTER, E. H. M.; FREITAS-SILVA, O.; GOMES, I. A.; FERNANDES DAMASCENO, L.; ALCÂNTARA, I.; CABRAL, L. M. C. The effect of thermal, chlorine and ozone treatments on survival of *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. in açai berries. **IOSR Journal Of Pharmacy**, v. 7, n. 1, p. 4-11, 2017. <https://doi.org/10.9790/3013-0701010411>

BORGES, G. D. S. C.; VIEIRA, F. G. K.; COPETTI, C.; GONZAGA, L. V.; ZAMBIAZI, R. C.; MANCINI FILHO, J.; FETT, R. Caracterização química, compostos bioativos e capacidade antioxidante do fruto da juçara (*Euterpe edulis*) da Mata Atlântica no sul do Brasil. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2128-2133, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.006>.

BORGES, G. D. S. C.; GONZAGA, L. V.; JARDINI, F. A.; MANCINI FILHO, J.; HELLER, M.; MICKE, G.; COSTA, A. C. O.; FETT, R. Protective effect of *Euterpe edulis* M. on Vero cell culture and antioxidant evaluation based on phenolic composition using HPLC-ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 51, n. 1, p. 363-369, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.035>

BRASIL. Ministério da Saúde. Instrução Normativa nº 61, de 1º de julho de 2022.. Disponível em: [https://pdf.datalegis.net/files/rj6di4ck1252igh0pvtcte9fto\\_1748000923.pdf](https://pdf.datalegis.net/files/rj6di4ck1252igh0pvtcte9fto_1748000923.pdf)

BRASIL. Instituto Chico Mendes de Proteção a Biodiversidade-ICMBio. (2022). **Portaria MMA Nº 148**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 7 de Junho de 2022. Disponível em:<<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/aves-silvestres/arquivos/portaria-148-2022.pdf>> Acesso em: 17/03/2025.

CASTRO, R.W.; BORGES, G. S. C.; GONZAGA, L. V.; RIBEIRO, D. H. B. Quality of the beverage preparation produced from juçara pulp subjected to heat treatment. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, Artigo e2015008, 2016. <http://doi.org/10.1590/1981-6723.0815>

COHEN, K. O.; MATTA, V. M.; FURTADO, A. A. L.; MEDEIROS, N. L.; CHISTÉ, R. C. Microbiological contaminants in açai pulp traded in Belém-PA. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 5, n. 2, p. 524-530, 2011. <http://doi.org/10.3895/S1981-36862011000200004>

Commission Internationale de L'Eclairage-CIE. **International Commission on Illumination Internationale Beleuchtungs kommission. Technical report. Colorimetry**. 3rd Edition. 2004. 82 p. Disponível em: <<https://cielab.xyz/pdf/cie.15.2004%20colorimetry.pdf>> Acesso em: 12/02/2025.

DANTAS, A. M.; BATISTA, J. D. F.; LIMA, M. S.; FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S.; MAGNANI, M BORGES, G. S. C. Effect of cold plasma on açai pulp: Enzymatic activity, color and bioaccessibility of phenolic compounds. **Food Science and Technology-LWT**, v. 149, Artigo 111883, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111883>

EPELLE, E. I.; MACFARLANE, A.; CUSACK, M.; BURNS, A.; OKOLIE, J. A.; MACKAY, W.; RATEB, M.; YASEEN, M. Ozone application in different industries: A review of recent developments. **Chemical Engineering Journal**, v. 454, p. 140188, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.140188>.

FELZENSZWALB, I.; DA COSTA MARQUES, M. R.; MAZZEI, J. L.; AIUB, C. A. F. Toxicological evaluation of *Euterpe edulis*: A potential superfruit to be considered. **Food and Chemical Toxicology**, v. 58, p. 536–544, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.06.025>

FULEKI, T.; FRANCIS, F. J. Quantitative methods for anthocyanins 1. Extraction and determination of total anthocyanins in cranberry juice. **Journal of Food Science**, v. 33, n. 1, p. 72-77, 1968. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1968.tb00887.x>

GODOY, R. C. B.; PEREIRA, L. O.; SÍCOLI SEOANE, C. E.; RETT, H. T. **Juçara (*Euterpe edulis* M.): importância ecológica e alimentícia**. Embrapa Florestas, 2022. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>> Acesso em: 19/03/2025.

GONÇALVES-MAGALHÃES, C.; FARONI, L.R.D.; CECON, P.R.; ALENCAR, E.R.D.; SILVA, M.V.D.A.; RODRIGUES, A.A.Z.; MASSANGO, H.D.G.L.L.; SILVA, M.J.D. Efficiency of ozonated water treatment with a microbubble system for sanitization and preservation of postharvest quality of acerolas. **Foods** **2025**, 14, 1814. <https://doi.org/10.3390/foods1410181>

GONÇALVES-MAGALHÃES, C.; FARONI, L. R. A.; ALENCAR, E. R.; RODRIGUES, A. A. Z.; CECON, P. R.; SILVA, M. V. A.; SITO, E. P. E.; MELO, C. E. L. D. Postharvest quality of lychee treated with ozone gas or ozonated mist. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 12, Artigo e280838, 2024. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n12e280838>

GONÇALVES-MAGALHÃES, C.; FARONI, L. R. A.; CECON, P. R.; ALENCAR, E. R.; SILVA, M. V. A.; RODRIGUES, A. A. Z.; SITO, E. P. E.; MASSANGO, H. G. L. L. Potential of ozonated mist for microbiological disinfection and preservation of the physicochemical quality of strawberries. **Ozone: Science & Engineering**, p. 1-15. <https://doi.org/10.1080/01919512.2025.2454934>

GUIMARÃES, L. A. de O. P.; SOUZA, R. G. de; GUIMARÃES, L. A. P.; SOUZA, R. G. Palmeira juçara: patrimônio natural da Mata Atlântica no Espírito Santo. Vitória: Incaper, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/2701/1/BRT-Livro-Palmeira-Jucara-Ainfo.pdf>. Acesso em: 18/03/2025.

HE, Z., LI, C., JI, X., PENG, H., LIU, S., & WU, W. Effects of Aqueous Ozone on Microbial Growth, Quality, and Shelf Life Extension of Chinese Bayberry (*Myrica rubra* Sieb. Et Zucc). **Journal of Food Processing and Preservation**, 2025(1), 3838569, 2025. <https://doi.org/10.1155/jfpp/3838569>

HUANG, H.; NI, Z.; XIE, J.; LI, Y.; WEN, H.; HUANG, Z.; SITU, W.; SONG, X. Good Feasibility of Ozone-Microwave Treatment as a Sterilization Technology to Extend the Edible Life of Candied Fruit as a Post-processed Fresh Fruit Product. **Food and Bioprocess Technology**, p. 1-15, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03315-7>

INÁCIO, M. R. C.; DE LIMA, K. M. G.; LOPES, V. G.; PESSOA, J. D. C.; DE ALMEIDA TEIXEIRA, G. H. Total anthocyanin content determination in intact acai (*Euterpe oleracea* Mart.) and palmitero-juçara (*Euterpe edulis* Mart.) fruit using near infrared spectroscopy (NIR) and multivariate calibration. **Food Chemistry**, v. 136, n. 3-4, p. 1160-1164, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.046>

Instituto Adolfo Lutz-IAL. **Métodos físicos-químicos para análise de alimentos**. 4ª Edição. 1ª Edição Digital. 2008. 1020 p. Disponível em:

<<https://wp.ufpel.edu.br/nutricaoobromatologia/files/2013/07/NormasADOLFOLUTZ.pdf>>  
Acesso em: 13/02/2025.

JESUS, A. L. T.; CRISTIANINI, M.; SANTOS, N. M.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R. Effects of high hydrostatic pressure on the microbial inactivation and extraction of bioactive compounds from açai (*Euterpe oleracea* Martius) pulp. **Food Research International**, v. 130, Artigo 108856, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108856>

JI, L.; PANG, J.; LI, S.; XIONG, B.; CAI, L-G. Application of new physical storage technology in fruit and vegetable industry. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 25, p. 6718-6722, 2012. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1878>

LI, C.; XIE, Y.; GUO, Y.; CHENG, Y.; YU, P.; QIAN, E.; YAO, W. Effects of ozone-microbubble treatment on the removal of residual pesticides and the adsorption mechanism of pesticides onto the apple matrix. **Food Control**, v. 120, Artigo 107548, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107548>

LI, X.; LIU, C.; LIU, F.; ZHANG, X.; CHEN, X.; PENG, Q.; WUB, G.; ZHAOB, Z. Substantial removal of four pesticide residues in three fruits with ozone microbubbles. **Food Chemistry**, v. 441, Artigo 138293, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138293>

LIU, T.; ZHANG, B.; LI, W.; LI, B.; HAN, Z.; ZHANG, Y.; DING, U.; WANG, S.; MA, J.; ELE, X. The catalytic oxidation process of atrazine by ozone microbubbles: Bubble formation, ozone mass transfer and hydroxyl radical generation. **Chemosphere**, v. 325, Artigo 138361, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138361>

MACIEL, L.; MOURA, N. F.; LEONARDI, A. Cadeia produtiva do açai juçara na região do litoral norte do Rio Grande do Sul. **Revista teoria e evidência econômica**, v. 25, n. 52, p. 29-53, 2021. <https://doi.org/10.5335/rtee.v25i52.10331>

MANOUSARIDIS, G.; NERANTZAKI, A.; PALEOLOGOS, E. K.; TSIOTSIAS, A.; SAVVAIDIS, I. N.; KONTOMINAS, M. G. Effect of ozone on microbial, chemical and sensory attributes of shucked mussels. **Food Microbiology**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2004.06.003>

MORAIS, M. L.; SILVA, A. C. R.; ARAÚJO, C. R. R.; ESTEVE, E. A.; DESSIMONI-PINTO, N. A. V. Determinação do potencial antioxidante in vitro de frutos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 355-360, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200004>

MORATA, A.; ESCOTT, C.; VAQUERO, C.; FRESNO, J. M. D.; LOIRA, I.; CUERDA, R.; GONZÁLEZ, C. Use of ozonation to sanitize the grapes during red wine making. Effect on acidification, phenols, aroma, sensory profile, and implications in the implantation of *Lachancea thermotolerans* yeasts and SO<sub>2</sub> reduction. **Food Bioscience**, v. 63, Artigo 105700, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105700>

NAYAK, S. L., SETHI, S., SHARMA, R. R., SHARMA, R. M., SINGH, S., & SINGH, D. Aqueous ozone controls decay and maintains quality attributes of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). **Journal of Food Science and Technology**, 57(1), 319–326, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04063-3>

OLIVEIRA, A. F. A.; MAR, J. M.; SANTOS, S. F.; SILVA JÚNIOR, J. L.; KLUCZKOVSKI, A. M.; BAKRY, A. M.; BEZERRA, J. A.; NUNOMURA, R. C. S.; SANCHES, E. A.; CAMPELO, P. H. Non-thermal combined treatments in the processing of açai (*Euterpe oleracea*) juice. **Food Chemistry**, v. 265, n. 1, p. 57-63, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.081>

PEREIRA, D. C. de S.; CAMPOS, A. N. da R.; MARTINS, M. L.; MARTINS, E. M. F. Frutos da palmeira juçara: contextualização, tecnologia e processamento. **Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais**, 2017. Disponível em: [https://mpcta.riopomba.ifsudestemg.edu.br/pdf/livros/164282687\\_Livro\\_Palmeira\\_Ju%C3%A7ara.pdf](https://mpcta.riopomba.ifsudestemg.edu.br/pdf/livros/164282687_Livro_Palmeira_Ju%C3%A7ara.pdf). Acesso em: 19/03/2025.

RAKNESS, K.; GORDON, G.; LANGLAIS, B.; MASSCHELEIN, W.; MATSUMOTO, N.; RICHARD, Y.; ROBSON, C. M.; SOMIYA, I. Guideline for measurement of ozone concentration in the process gas from an ozone generator. **Ozone: Science & Engineering**, v. 18, n. 3, p. 209-229, 1996. <https://doi.org/10.1080/01919519608547327>

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)

RIBEIRO, P. H., FARONI, L. R. D. A., FINGER, F. L., CECON, P. R., HELENO, F. F., & SANTOS, R. R. Ozônio como agente fitossanitário na conservação pós-colheita da batata-baroa. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016137, 2017. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13716>

RODRIGUES, A. A. Z.; QUEIROZ, M. E. L. R.; FARONI, L. R. A.; PRATES, L. H. F.; NEVES, A. A.; OLIVEIRA, A. F.; FREITAS, J. F.; HELENO, F. F.; ZAMBOLIM, L. The efficacy of washing strategies in the elimination of fungicide residues and the alterations on the quality of bell peppers. **Food Research International**, v. 147, Artigo 110549, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110579>

ROGEZ, H.; AKWIE, S. N. L. T.; MOURA, F. G., LARONDELLE, Y. Kinetic Modeling of Anthocyanin Degradation and Microorganism Growth during Postharvest Storage of Açai Fruits (*Euterpe oleracea*). **Journal of Food Science**, v. 77, n. 12, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02996.x>

PANDISELVAM, R.; SUBHASHINI, S.; BANUU PRIYA, E. P.; KOTHAKOTA, A.; RAMESH, S. V.; SHAHIR, S. Ozone based food preservation: a promising green technology for enhanced food safety. **Ozone: Science & Engineering**, v. 41, n. 1, p. 17–34, 2018. <https://doi.org/10.1080/01919512.2018.1490636>

PEREIRA, D.; MARTINS, E.; MARTINS, M.; CAMPOS, A. Cold storage of juçara (*Euterpe edulis* Martius) fruits: stability of the bioactive compounds and antioxidant activity. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 43147-43160, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-072>

PIECHOWIAK, T.; SKÓRA, B.; BALAWEJDER, M. Ozone treatment induces changes in antioxidative defense system in blueberry fruit during storage. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, p. 1240-1245, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02450-9>.

SALFINGER, YVONNE, MARY LOU TORTORELLO, and issuing body American Public Health Association. **Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods**. Ed. by Yvonne Salfinger and Mary Lou Tortorello. Fifth edition. Washington, DC: American Public Health Association, 2015. Print.

SANTOS, B. A.; CAMPOFIORITO, M. C. M.; PINTO, J. L. F.; PENTEADO, S. H. N. W.; FONSECA, F. L. A.; GEHRKE, F. S. Microbiological analysis of the acai berry products marketed in the city of São Paulo. **Brazilian Journal of Clinical Analyses**, v. 48, n. 1, p. 53-57, 2016. Disponível em: <<https://www.rbac.org.br/revista-rbac/volume-48-no-01-i-ano-2016/>>. Acesso em: 24/02/2025.

SCHULZ, M.; BORGES, G. S. C.; GONZAGA, L. V.; SERAGLIO, S. K. T., OLIVO, I. S.; AZEVEDO, M. S.; NEHRING, P., GOIS, J. S.; DE ALMEIDA, T. S.; VITALI, L.; SPUDEIT, D. A.; MICKE, G. A.; BORGES, D. L. G.; FETT, R. Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (*Euterpe edulis* Martius) during ripening. **Food Research International**, v. 77, p. 125-131, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.006>

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>

SILVA, M.G.C.P.C.; BARRETTO, W. S.; SERÔDIO, M. H. **Comparação nutricional da polpa dos frutos de juçara e de açaí**. Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento-MAPA. 2019. 3 p. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/publicacoes-outras-cadeias/comparacao-nutricional-da-polpa-de-jucara-e-acai/view>> Acesso em: 24/02/2025.

SILVA, M. J.; ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. A.; SILVA, M. V. A.; MACHADO, S. G.; MAGALHÃES, C. G.; RIBEIRO, W. S.; RIBEIRO MARTINS, A. H. R. Post-harvest quality of lettuce treated with ozonised water in a microbubble system. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, p. 1-18, 2024. <https://doi.org/10.1080/01140671.2024.2345330>

SILVA, M. V. A.; FARONI, L. R. A.; ALENCAR, E. R.; VIANA, J. M. S.; SITOIE, E. P. E.; SALVADOR, D. V.; MASON FILHO, V.; MAGALHÃES, C. G. Ozonation of popcorn kernels: saturation kinetics at different specific flow rates, control of *Aspergillus flavus* infection, and grain quality analysis. **Foods**, v. 13, n. 20, Artigo 3301, 2024. <https://doi.org/10.3390/foods13203301>

SILVA, P. P. M. da; CARMO, L. F. do; SILVA, G. M.; DINIZ, M. F. S.; CASEMIRO, R. C.; SPOTO, M. H. F. Physical, chemical, and lipid composition of juçara (*Euterpe edulis* Mart.) pulp. *Alimentos e Nutrição = Brazilian Journal of Food Nutrition*, v. 24, n. 1, p. 7-13, 2013. Disponível em: <<https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&u=googlescholar&id=GALE|A340423386&v=2.1&it=r&sid=AONE&asid=f5bfb199>> Acesso em: 17/03/2025.

SILVA, R. C.; SILVA, B. A.; SECCADIO, L. L.; PELAIS, A. C. A.; SILVA, N. S.; SILVA, B. M. Hygienic-sanitary and microbiological evaluation of açai sold in the municipal market of Ver-o-Peso, Belém-PA, Brazil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 22, n. 4, p. 705-712, 2023. <https://doi.org/10.5965/223811712242023705>

SIQUEIRA, A. P.; SANTOS, K.; BARBOSA, T.; FREIRE, L.; CAMÊLO, Y. Technological differences between açai and juçara pulps and their sorbets. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2017. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.4717>

SITOE, E. P. E.; ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. A.; FONTES, E. A. F.; SILVA, M. V. A.; MACHADO, F. J.; PANDISELVAM, R.; MAGALHÃES, C. G. Application of ozone at low-pressure: Control of egg and larval phases of *Zabrotes subfasciatus*, inactivation of *Aspergillus flavus* and qualitative changes in bean grains. **Food Control**, v. 158, Artigo 110238, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110238>

SITOE, E. P. E.; USBERTI F. C. S., AGUIAR, R. H.; PEDRO, C. “Post-Harvest Quality of Red Bell Pepper: Effect of Ozonized Mist and Protective Film.” **Food Biophysics**, v. 20, n. 16, p. 1-20, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11483-024-09909-8>

SOUZA, A. C.; PORTELA, R. C. Q.; MATTOS, E. A. Demographic processes limit upward altitudinal range expansion in a threatened tropical palm. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 23, p. 12238-12249, 2018. <https://doi.org/10.1002/ece3.4686>

SOUZA, T. C. S.; SILVA, B. A.; MACHADO, I. C.; UCHÔA, B. C.; SOBRAL, C. T. C.; ROSÁRIO, G. L.; SILVA JÚNIOR, A. Q. Biotechnological and nutraceutical potential of fresh açai pulp and seeds. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 7, n. 9, p. 1-22, 2024. <https://doi.org/10.34119/bjhrv7n9-336>

TEIXEIRA B. N.; ALBERNAZ F. P.; OLIVEIRA A. C.; GOMES A. M. O.; CARVALHO V. L.; CARVALHO C. A. M. Inhibitory activity of *Euterpe oleracea* Mart. fruit extract in West Nile virus infection. **Microbial Pathogenesis**, v. 197, Artigo 107075, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2024.107075>

TIWARI, B.K.; O'DONNELL, C.P.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; CULLEN, P.J. Anthocyanins and color degradation in ozonated grape juice. **Food and Chemical Toxicology**, 47(11), 2824–2829, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.09.001>

TIWARI, B.K.; O'DONNELL, C.P.; PATRAS, A.; BRUNTON, N.; CULLEN, P.J. Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. **Food Chemistry**, 113(4), 1119–1126, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.085>

ZIA, R.; TAHIR, A.; ARSHAD, M.; AKHTAR, N. Extending freshness: The efficacy of ozonation in sterilizing fresh cut *Malus domestica*. **Food and Humanity**, v. 4, Artigo 100486, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100486>

ZHENG, YANLI; DUAN, LIHUA; JIANG, YUNBIN; YANG, XIANGZHENG; WANG, HAIFEN; LI, WENHAN; PAN, NA; WANG, XIAODONG; LIANG, FUHAO; PAN, YANFANG; CHEN, LAN; LI, XIHONG; JIA, XIAOYU. Ozone mitigates the flesh discoloration in response to 1-methylcyclopropene by promoting anthocyanin biosynthesis in

postharvest nectarines. **Scientia Horticulturae**, v. 321, p. 112253. ISSN 0304-4238, 2023.  
Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112253>.