

Fortaleza, CE / Julho, 2025



Atributos físicos e físico-químicos de manga Tommy Atkins tratada com água eletrolisada

Hélder Horácio de Lucena⁽¹⁾, Mônica Maria de Almeida Lopes⁽²⁾, Márcia Régia Souza da Silveira⁽³⁾, Nédio Jair Wurlitzer⁽⁴⁾, Fernando Antônio Souza de Aragão⁽⁵⁾ e Ebenézer de Oliveira Silva⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Engenheiro-agrônomo, mestre em Fitotecnia, analista da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH/SRH), Crateús, CE. ⁽²⁾ Engenheira de Alimentos, doutora em Bioquímica Vegetal, professora da Escola Estadual Darcy Ribeiro, Fortaleza, CE. ⁽³⁾ Farmacêutica, mestra em Tecnologia de Alimentos, analista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE. ⁽⁴⁾ Engenheiro de Alimentos, doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE. ⁽⁵⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia/Melhoramento Vegetal, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE. ⁽⁶⁾ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE.

Embrapa Agroindústria Tropical

Rua Pernambuco, 2.270, Pici
60.511-110 Fortaleza, CE
www.embrapa.br/agroindustria-tropical
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente
José Roberto Vieira Junior

Secretária-executiva
Celli Rodrigues Muniz

Membros
Afrânio Arley Teles Montenegro,
Aline Saraiva Teixeira, Eveline de Castro Menezes,
Francisco Nelsieudes Sombra Oliveira, Helenira Ellery Marinho Vasconcelos, Kirley Marques Canuto, Laura Maria Bruno, Marlon Vagner Valentim Martins, Pablo Busatto Figueiredo, Roselayne Ferro Furtado e Sandra Maria Morais Rodrigues

Edição executiva
Celli Rodrigues Muniz

Revisão de texto
José Cesamildo Cruz Magalhães

Normalização bibliográfica
Rita de Cassia Costa Cid (CRB-3/624)

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Diagramação
José Cesamildo Cruz Magalhães

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Resumo – Na comercialização e no consumo de frutas minimamente processadas (prontas para consumo), dois aspectos são igualmente importantes: a segurança e a qualidade do alimento. A segurança dos alimentos é alcançada pela eliminação de microrganismos patogênicos, enquanto a qualidade é definida pelos atributos físicos e físico-químicos inerentes à fruta. O desafio da ciência, para a indústria de minimamente processados, é desenvolver tecnologia com essa dupla aptidão. Os métodos tradicionais de controle se baseiam no uso de saneantes, sendo mais comum o hipoclorito de sódio (NaOCl), que é eficaz para a maioria dos microrganismos. Entretanto, vários fatores reduzem essa eficácia, com destaque para a inativação por matéria orgânica. Essa inativação ocorre, principalmente, por duas vias: consumo do cloro, gerando dosagem subletal, e aumento da carga microbiana. A dosagem subletal de hipoclorito induz resistência nos microrganismos, aumentando o risco biológico. Para contornar o problema, uma das alternativas para a indústria de minimamente processados seria aumentar a dosagem de hipoclorito (mg L⁻¹), o que aumentaria, também, o risco químico. Por outro lado, trabalhos confirmam a água eletrolisada (AE) como sanitizante, mesmo na presença de matéria orgânica. A principal diferença (NaOCl versus AE) está na forma como o cloro é liberado. No NaOCl, o cloro está como íon hipoclorito (ClO⁻) dissolvido na solução, enquanto na AE existe como cloro livre (Cl⁻). Essa diferença é importante, pois o cloro livre penetra mais facilmente nos microrganismos, causando danos às estruturas e funções essenciais, levando-os à morte. Uma vez comprovado o poder germicida da AE (1º aspecto), a atenção da pesquisa e do desenvolvimento voltou-se para a qualidade dos alimentos tratados com AE (2º aspecto). Nesse contexto, a hipótese deste trabalho partiu da premissa que as frutas tratadas com AE mantêm a mesma qualidade daquelas tratadas com saneantes comerciais, mesmo depois de minimamente processadas. Assim, utilizando a manga Tommy Atkins minimamente processada como modelo biológico de estudo, este trabalho objetivou comparar os atributos de qualidade (físicos e físico-químicos) das mangas tratadas, antes do processamento mínimo,

por imersão em solução de AE ou de produtos comerciais. As mangas foram sanitizadas por imersão nas soluções de AE (0, 75, 150, 225 e 300 mg L⁻¹ de cloro livre) ou do produto comercial (200 mg L⁻¹ de cloro – controle), minimamente processadas, acondicionadas (150 g) em pote plástico de polipropileno e armazenadas sob refrigeração (3 ± 2 °C, 85 ± 5% UR) por 12 dias. As mangas tratadas com AE e minimamente processadas apresentaram qualidade equivalente àquelas tratadas com o produto comercial, evidenciando que a AE pode ser uma alternativa ao NaClO no processamento mínimo de frutas.

Termos para indexação: *Mangifera indica* L., hipoclorito de potássio (KClO), hipoclorito de sódio (NaClO), avaliação da qualidade, sanitizante alternativo, manga minimamente processada.

Physical and physicochemical attributes of Tommy Atkins mango treated with electrolyzed water

Abstract – Maintaining both food safety and quality is paramount in the marketing and consumption of minimally processed (ready-to-eat) fruits. Food safety is the control of pathogenic microorganisms, while quality is defined by the inherent physical and physicochemical of fruit's attributes. For the fresh-cut produce industry, the challenge lies in developing technologies that simultaneously address this dual purpose. Traditional control methods are based on the use of sanitizers, the most common being sodium hypochlorite (NaOCl), which is effective against most microorganisms. However, several factors reduce this effectiveness, especially inactivation by organic matter. This inactivation occurs mainly through two pathways: consumption of chlorine, generating sublethal dosage, and increased microbial load. Sublethal doses of hypochlorite induce resistance in microorganisms, increasing biological risk. To overcome this problem, the minimally processed food industry could increase the dosage of hypochlorite (mg L⁻¹), which would also increase the chemical risk. On the other hand, studies confirm that electrolyzed water (EA) can be a sanitizer, even in the presence of organic matter. The key difference (NaOCl versus EA) is in the way of the chlorine is released. In NaOCl, the chlorine is present as hypochlorite ion (ClO⁻) dissolved in the solution; while in EA, it is present as free chlorine (Cl⁻). This difference is important, since free chlorine penetrates microorganisms more easily, causing damage to essential structures and functions, leading to their death. Once the germicidal power of EA was proven (1st aspect), research and development focused on the quality of foods treated

with EA (2nd aspect). In this context, the hypothesis of this study based on the premise that fruits treated with EA maintain the same quality as those treated with commercial sanitizers, even after minimal processing. Thus, using the minimally processed Tommy Atkins mango as a biological model for study, this study aimed to compare the quality attributes (physical and physicochemical) of mangoes treated, before minimal processing, by immersion in a solution of EA or commercial products. The mangoes were sanitized by immersion in AE solutions (0, 75, 150, 225 and 300 mg L⁻¹ of free chlorine) or the commercial product (200 mg L⁻¹ of chlorine – control), minimally processed, packaged (150 g) in a polypropylene plastic container and stored under refrigeration (3 ± 2 °C, 85 ± 5% RH) for 12 days. The mangoes treated with AE and minimally processed presented equivalent quality to those treated with the commercial product, evidencing that AE can be an alternative to NaClO in the minimal processing of fruits.

Index terms: *Mangifera indica* L., potassium hypochlorite (KClO), sodium hypochlorite (NaClO), quality assessment, alternative sanitizer, fresh-cut mango.

Introdução

Minimamente processados são hortaliças, frutas, raízes e tubérculos ou combinações destes que sofreram apenas o processamento físico (Silva et al., 2011) e, portanto, estão prontos para o consumo in natura (Ali et al., 2024) e são valorizados, principalmente, pelo frescor, pela conveniência e pelos benefícios à saúde (Teng; Zhang; Mujumdar, 2023). No entanto, quando processados inadequadamente, veiculam patógenos causadores de doenças (Bai et al., 2024), configurando um potencial risco biológico (Thomas et al., 2024).

A redução desse risco em frutas minimamente processadas é alcançada com o uso de saneantes, que são compostos químicos capazes de controlar a contaminação em alimentos. Vários regulamentos internacionais, como, por exemplo, na Comunidade Europeia (REC-EU 396/2005), nos Estados Unidos (FDA-USA – REG. 21 CFR 173315) e no Brasil (RDC 35 MS 16/08/2010), aprovam, dentre outros, o hipoclorito de sódio (NaOCl) como sanitizante para os produtos hortifrutícolas minimamente processados. Soluções de NaOCl, que variam de 50 a 200 µL L⁻¹ de cloro, são comumente recomendadas para minimamente processados (Corato, 2020). Contudo, na solução de tratamento, o íon hipoclorito (OCl⁻) pode reagir com a matéria orgânica (Chinchkar et al., 2022), desencadeando, como

mencionado anteriormente, o processo denominado de inativação por matéria orgânica, que reduz o poder germicida por duas vias complementares: pelo consumo do cloro (resultando em dosagem subletal) e pelo aumento da carga microbiana. A dosagem subletal induz resistência nos microrganismos (Nam; Yoo, 2024), enquanto os exsudatos celulares, matéria orgânica rica em açúcares, servem de nutrientes para os microrganismos, beneficiando o crescimento da população microbiana. Na tentativa de ajustar a concentração de cloro livre necessária ao controle, as indústrias tendem a aumentar a dosagem de NaOCl, fechando um ciclo que se repete desfavoravelmente ao consumidor: maior risco biológico, pelo aumento da população microbiana, e maior risco químico, pelo aumento da dosagem de hipoclorito e da produção de compostos prejudiciais à saúde humana (Lee; Huang; Zhu, 2018), tais como clorofórmio (CHCl_3), cloraminas (NH_2Cl) e outros (Dejaeger et al., 2022).

Diante do exposto, pode-se afirmar que há uma demanda crescente por estratégias alternativas para reduzir os riscos biológicos e químicos de produtos minimamente processados. Tais estratégias passam pelos métodos físicos, como os tratamentos térmicos, ou por compostos químicos alternativos, como, por exemplo, os fitoterápicos, com destaque para os óleos essenciais. Nos tratamentos térmicos, o aquecimento pode ocasionar alterações nutricionais e sensoriais (cor, firmeza, textura, sabores e aromas). Por outro lado, os óleos essenciais têm comprovada atividade antimicrobiana contra diversos microrganismos (Chouhan; Sharma; Guleria, 2017); mas, dependendo da concentração utilizada, podem incorporar sabores e odores não característicos dos produtos hortícolas minimamente processados.

Nesse contexto, a água eletrolisada (AE) surgiu como uma das alternativas, sendo capaz de controlar os microrganismos em alimentos e, ainda, diminuir os riscos biológicos e químicos (Meireles; Giaouris; Simões, 2016). Em bactérias, a AE pode interromper ou até mesmo destruir a síntese de DNA. Em fungos, oxida a parede celular, interrompe o metabolismo de compostos orgânicos, e mesmo as estruturas de resistência e sobrevivência são eliminadas (Al-Haq; Sugiyama, 2004; Rebezov et al., 2022). Devido à grande disponibilidade de cloro livre e ao elevado potencial de oxirredução, a AE controla melhor os microrganismos, mesmo na presença de compostos orgânicos (Issa-Zacharia, 2024).

Essa tecnologia consiste de um método simples de produzir uma solução sanitizante, com alta

concentração de cloro livre, a partir de uma solução aquosa contendo sal de cozinha. A eletrólise de uma solução salina, contendo sal de cozinha (NaCl , 1%), produz, também, hidróxido de sódio diluído (NaOH), conhecido como soda cáustica, que é uma base forte muito utilizada na indústria metalúrgica, energética (biodiesel), petrolífera (extração e refino de petróleo), celulósica (papel e rayon – seda artificial a partir de celulose), alimentícia e farmacêutica (Da Silva, 2012). Apesar de extremamente útil à indústria, a soda cáustica, quando descartada, intermitentemente provoca oscilações bruscas no pH, desencadeando efeitos ambientais indesejáveis (Issa-Zacharia et al., 2010), como a morte de alevinos nos cursos d'água ou de microrganismos nitrificantes nos solos. Por outro lado, quando descartada, continuamente provocará aumento do pH do ambiente (água ou solo), afetando a flora e a fauna (Kumar; Verma, 2023). Para contornar esse problema (NaOH), foi testada a eletrólise com outros sais, como a solução contendo cloreto de potássio (KCl). A eletrólise do KCl (0,1%), além de produzir o cloro livre, como principal agente saneante, produziu como subproduto o hidróxido de potássio (KOH), que poderá ser utilizado como nutriente diretamente na água de irrigação (fertilirrigação).

Em resumo, a AE, devido ao efeito sinérgico das concentrações de cloro disponíveis ($\pm 3.000 \text{ mg L}^{-1}$) e do elevado potencial de oxirredução (-800 mV), apresenta efeito germicida de largo espectro, sendo eficaz no controle de patógenos em alimentos (Zhao; Li; Yang, 2021), incluindo frutas minimamente processadas (Ali et al., 2024), tais como kiwi (Zhao; Li; Yang, 2021), maçã (Gao et al., 2023; Nyamende et al., 2024), manga (Lopes et al., 2021) e pitaya vermelha (Ding et al., 2024). Uma vez comprovado o efeito germicida da AE, tornou-se necessário estudar os efeitos da AE sobre os atributos físicos e físico-químicos de qualidade (Du et al., 2024).

Em manga Tommy Atkins, o tratamento com AE, antes do processamento mínimo, mostrou-se eficiente no controle de patógenos (Lopes et al., 2021), mas ainda continua carente de estudos mais detalhados sobre os efeitos nos atributos físicos e físico-químicos de qualidade, procurando identificar padrões em função das diferentes concentrações e do tempo de armazenamento após o processamento mínimo.

Assim, utilizando-se a manga Tommy Atkins como modelo biológico de estudo, este trabalho objetivou estudar os efeitos da AE com foco nos atributos físicos e físico-químicos de qualidade da fruta minimamente processada.

Material e métodos

Material vegetal

As mangas (*Mangifera indica* L. cv. Tommy Atkins) foram adquiridas na Central de Abastecimento do Ceará (Ceasa-CE), com massa média de

500 g e no 5º (quinto) estágio de maturação (Figura 1), acondicionadas em caixas plásticas e transportadas para o Laboratório de Pós-colheita da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, CE, onde foram refrigeradas (10 ± 2 °C e $85 \pm 5\%$ UR) por 24 horas, visando retirar o calor de campo antes do processamento mínimo.

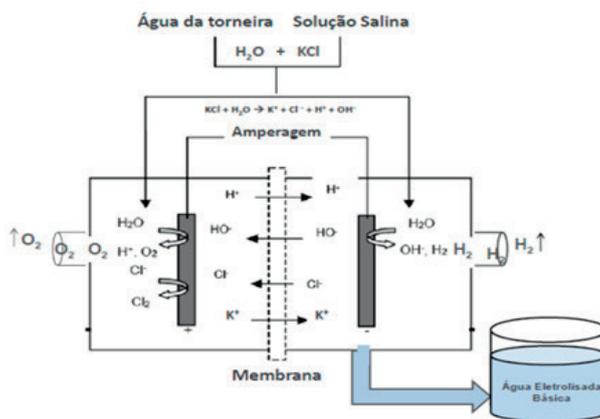


Figura 1. Mangas Tommy Atkins adquiridas na Central de Abastecimento do Ceará (Ceasa-CE) no quinto estágio de maturação – coloração mais vermelha e amarelada do que verde.

Soluções sanitizantes

A água eletrolisada (estoque) foi obtida por meio da eletrólise de uma solução salina diluída (0,1%) de cloreto de potássio (KCl), dentro de uma câmara com dois eletrodos, um positivo (anodo) e o outro negativo (catodo), separados por uma membrana ou

diafragma (Figura 2). Para tanto, utilizou-se um eletrolisador industrial com capacidade para produzir de 8 a 10 litros de água eletrolisada por hora ($L h^{-1}$), com as seguintes propriedades: condutividade elétrica de 45 mS; potencial de oxirredução (ORP) de -800 mV; e cloro de ± 3.000 mg L^{-1} .



Anodo (+)	Membrana	Catodo (-)
$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^- \rightarrow$...	$\rightarrow 2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2$
$2KCl \rightarrow Cl_2 + 2e^- + 2K^+ \rightarrow$...	$\rightarrow 2KCl + 2OH^- \rightarrow 2KOH + Cl^-$
$Cl_2 + H_2O \rightarrow HCl + HOCl$		Água eletrolisada utilizada*

Figura 2. Esquema ilustrativo do sistema gerador de água eletrolisada e demais reações envolvidas na produção da água eletrolisada (adaptado de Huang et al., 2008).

As soluções foram preparadas por meio de diluição da água eletrolisada na concentração de 2.836 mg L^{-1} (estoque) em água potável (H_2O), nas concentrações de 0, 75, 150, 225 e 300 mg L^{-1} de cloro livre, seguindo a Equação 1.

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

Onde: V_1 e C_1 são, respectivamente, o volume e a concentração da solução estoque (2.836 mg L^{-1}); V_2 e C_2 são, respectivamente, o volume e a concentração das soluções desejadas (0, 75, 150, 225 e 300 mg L^{-1} de cloro livre).

Como controle positivo, foi utilizado um produto comercial (PC) hipoclorito de sódio (2,0% p/p de cloro). A solução do produto comercial (200 mg L^{-1}) foi preparada diluindo-se 10 mL do produto em 1 litro de água potável, seguindo a recomendação do fabricante.

Aplicação dos tratamentos

As mangas inteiras foram sanitizadas por imersão, durante 15 minutos, nas diferentes soluções de água eletrolisada (0, 75, 150, 225 e 300 mg L^{-1} de cloro livre) e do produto comercial (200 mg L^{-1} de cloro). Em seguida, foram secas por 10 minutos sob temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e, na sequência, encaminhadas ao Laboratório de Processos Agroindustriais para serem minimamente processadas (Figura 3).

Processamento mínimo

No Laboratório de Processos Agroindustriais, as mangas foram processadas manualmente em ambiente higienizado e refrigerado. O descascamento (Figura 4A e B) e os cortes (Figura 4C e D) foram realizados com faca de aço inoxidável bem afiada.

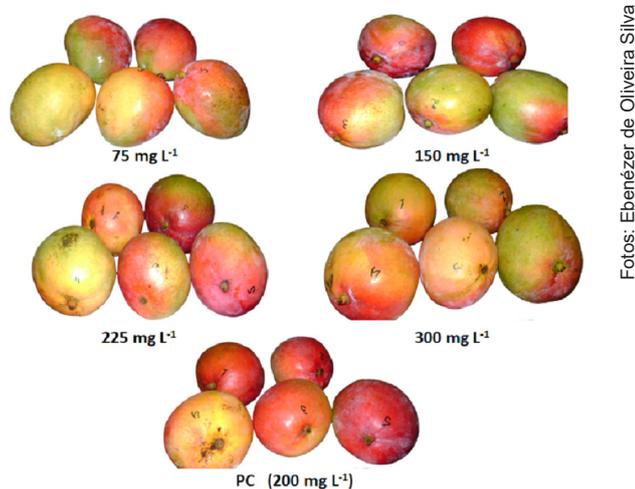


Figura 3. Mangas Tommy Atkins sanitizadas com soluções de água eletrolisada (0, 75, 150, 225 e 300 mg L^{-1} de cloro livre) e do produto comercial (200 mg L^{-1} de cloro), antes de serem minimamente processadas.

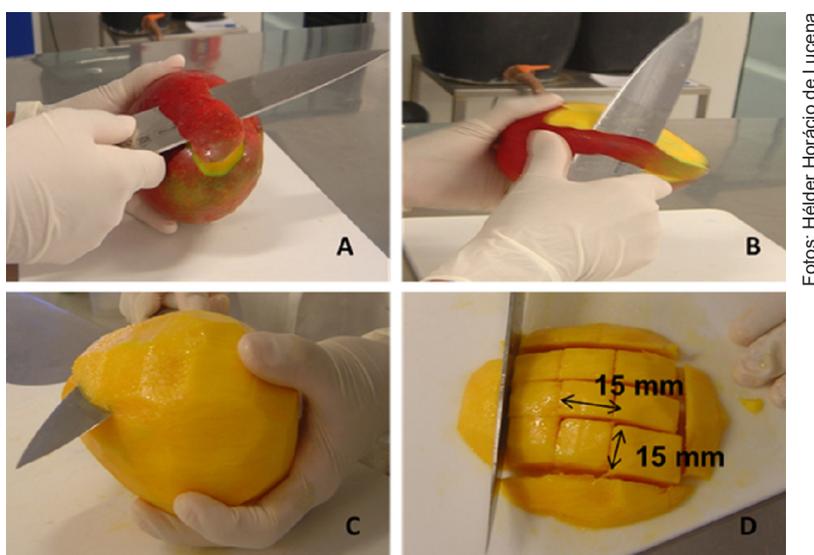


Figura 4. Etapas de descascamento (A e B) e cortes, o primeiro para separar a polpa da semente (C) e o segundo para produzir os cubos ($15 \times 15 \text{ mm}$) de manga minimamente processada (D).

Após descascamento e corte, os cubos de manga minimamente processada (MMP) foram enxaguados (Figura 5A) por 30 segundos em solução refrigerada ($10 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) de AE (5 mg L^{-1}) ou PC (5 mg L^{-1}) e, na sequência, drenados em bandejas de plástico perfuradas durante 5 minutos (Figura 5B). Essa etapa tem como objetivo retirar os exsudatos celulares provenientes do corte e, geralmente, recomenda-se utilizar a mesma concentração de cloro padronizada na água fornecida pelas empresas de abastecimento.

Finalizando o processamento mínimo, os cubos de MMP foram acondicionados em embalagens rígidas de polipropileno contendo em torno de 150 gramas (Figura 6A), que foram rotuladas (Figura 6B)

para armazenamento refrigerado ($3 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $85 \pm 5\%$ UR) por 12 dias.

Delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial $[(5+1) \times 3]$. O esquema fatorial constou de três fatores: concentrações de água eletrolisada com 5 níveis (0, 75, 150, 225 e 300 mg L^{-1} de cloro livre), produto comercial com apenas um nível (200 mg L^{-1} de cloro) e tempo de armazenamento com 3 níveis (0, 6 e 12 dias). Os tratamentos foram repetidos quatro vezes, e a unidade experimental foi constituída de uma embalagem contendo aproximadamente 150 g de MMP (Figura 6A).

Fotos: Hélder Horácio de Lucena

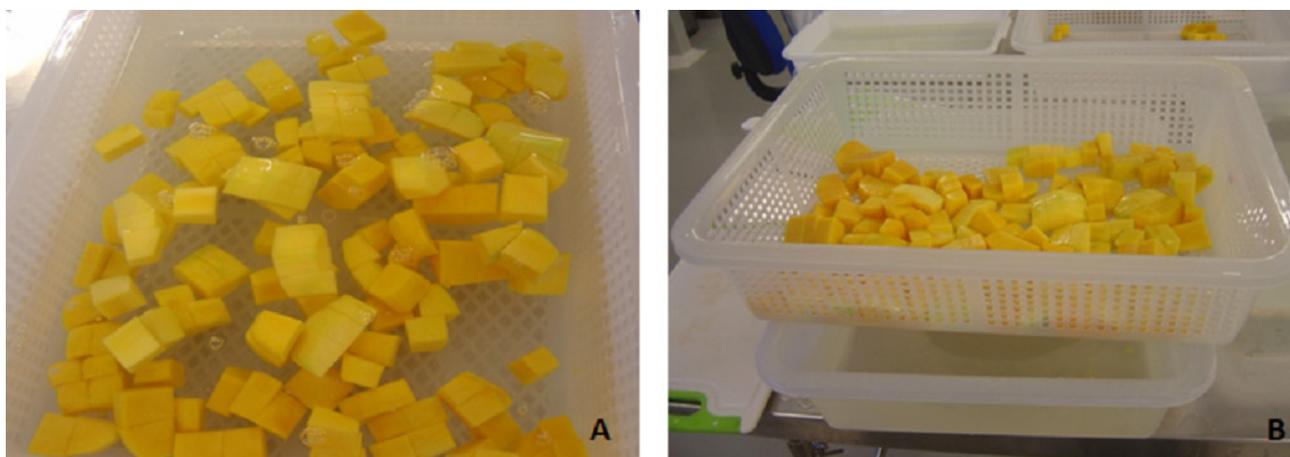


Figura 5. Enxágue com água contendo solução diluída de eletrolisada ou produto comercial (A), ambos na concentração de 5 mg L^{-1} de cloro; e drenagem dos cubos de manga minimamente processada (B).

Fotos: Hélder Horácio de Lucena



Figura 6. Pote plástico de polipropileno (A) contendo 150 gramas do produto minimamente processado; e rotulagem dos potes para armazenamento refrigerado ($3 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $85 \pm 5\%$ UR) por 12 dias (B).

Análises de qualidade da manga minimamente processada

Perda de massa

A perda de massa foi quantificada por gravimetria, como sendo exclusivamente a perda de água (g) durante armazenamento refrigerado (3 ± 2 °C, $85 \pm 5\%$ UR) por 12 dias. A perda de massa, ao final de cada tempo de armazenamento (0, 6 e 12 dias), foi transformada em porcentagem (%) por meio da Equação 2.

$$\text{Perda de massa (\%)} = \frac{(\text{massa inicial} - \text{massa final})}{\text{massa inicial}} * 100$$

Firmeza dos cubos

A firmeza foi medida como resistência dos cubos à penetração. Para tanto, utilizou-se de um texturômetro de bancada equipado com uma ponteira Magness-Taylor de seis milímetros (6 mm) de diâmetro (referência SMS P/6) e programada para uma penetração de 10 mm. Foram realizadas leituras em cinco (5) cubos de MMP por repetição em cada tratamento, e os resultados foram expressos em Newton (N).

Coloração dos cubos

A coloração dos cubos de MMP foi determinada com o auxílio de um colorímetro digital, por meio de leituras realizadas em L^* , a^* e b^* (CieLab*). Foram tomados cinco (5) cubos de manga minimamente processada por cada repetição e feitas duas leituras em cada cubo (Alves et al., 2010). A coordenada L^* expressa a luminosidade da cor (sendo 0 = preto e 100 = branco); a coordenada a^* expressa a variação da cor entre o verde e o vermelho (a^* negativo = verde; a^* positivo = vermelha); e a coordenada b^* expressa a variação entre o azul e o amarelo (b^* negativo = azul; b^* positivo = amarelo).

Sólidos solúveis

Os sólidos solúveis (SS) foram quantificados por refratometria, como o auxílio de um refratômetro digital, com escala variando de 0 a 45 °Brix e compensação automática de temperatura (AOAC, 2023) (Método N° 932.12). As leituras foram feitas em suco obtido dos cubos de manga, após processamento e filtragem em papel de filtro qualitativo (#1). Os resultados foram expressos em °Brix.

Acidez titulável

A acidez titulável (AT) foi quantificada por titulometria, em potenciômetro automático, com hidróxido de sódio (NaOH 0,1 N) até pH 8. Os valores

de acidez titulável foram expressos em porcentagem (%) de ácido cítrico (AOAC, 2023; Método N° 942.15).

Relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT)

A relação SS/AT foi calculada pela divisão entre os valores de sólidos solúveis (SS) pelos valores correspondentes de acidez titulável (AT) nas mesmas repetições amostrais, conforme a Equação 3.

$$R a t i o = \frac{\text{Sólidos Solúveis (SS)}}{\text{Acidez Titulável (AT)}}$$

Açúcares totais

Os açúcares totais foram quantificados pelo método da antrona (Yemm; Willis, 1954). Pesou-se 1 g da amostra para balão de 50 mL com água destilada, ficando em repouso por 15 minutos. Depois, a solução foi filtrada em papel de filtro e, em seguida, retirada uma alíquota (5 mL) para balão volumétrico (50 mL) contendo água destilada. Em tubos de ensaio, foram adicionados 0,090 mL dessa solução; 0,910 mL de água destilada; e 2 mL de antrona (0,1%). Logo após, os tubos foram agitados, colocados em banho-maria (100 °C) por 8 minutos e imediatamente resfriados em banho de gelo. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 620 nanômetros, e os resultados expressos em porcentagem (%).

Açúcares redutores

Os açúcares redutores foram quantificados pelo método que utiliza o reagente de ácido dinitrosalicílico (Miller, 1959). Preparou-se o extrato a partir de 0,5 g de amostra, diluída em balão de 50 mL com água destilada e depois filtrada em papel de filtro qualitativo (#1). Em tubos de ensaio, adicionou-se 1,5 mL desta solução e 1 mL de ácido dinitrosalicílico (DNS, a 1%); agitou-se e, em seguida, levou-se para banho-maria (100 °C) por 5 minutos. Após resfriadas em banho de gelo, o volume das amostras foi completado para 10 mL com água destilada, e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 540 nanômetros. Os resultados foram expressos também em porcentagem (%).

Carotenoides totais

Os carotenoides totais foram quantificados por espectrofotometria (Lichtenthaler, 1987). Em cadinho de porcelana foram adicionados 2,0 g de polpa; 0,2 g de carbonato de cálcio; 1,0 g de areia calcinada; e 10 mL de hexano (80%). Após maceração

por 1 minuto, o conteúdo foi transferido para balão volumétrico (25 mL), envolto em papel alumínio, e completado o volume com hexano 80%. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 470 nanômetros, e os resultados expressos em $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de polpa.

Análises estatísticas

Os dados foram analisados por meio de análise de regressão, e a diferença entre as médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As diferenças estatísticas entre as curvas foram testadas pelo teste t a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa estatístico Genes (Cruz, 2006).

Resultados e discussão

Os resultados e as discussões das análises de qualidade da MMP foram concentrados em dois aspectos: análises físicas (perda de massa, firmeza dos cubos e coloração dos cubos de MMP) e, na sequência, as análises físico-químicas (sólidos solúveis, acidez titulável, relação sólidos solúveis/acidez titulável, açúcares totais, açúcares redutores e carotenoides totais).

Análises físicas

Independentemente das concentrações de água eletrolisada e do produto comercial utilizado na sanitização das mangas, a perda de massa foi baixa, apresentando efeito significativo dos tratamentos ($p < 0,05$) apenas no sexto (6º) dia de armazenamento refrigerado (Figura 7A).

Por outro lado, o efeito do tempo de armazenamento na perda de massa foi cumulativo (Figura 7A), apresentando maior perda acumulada no 12º dia de armazenamento. Em frutas minimamente processadas, acondicionadas e armazenadas de forma adequada, a perda de massa reflete, exclusivamente, a perda de água. Nesse sentido, a baixa perda de massa era esperada, pelas condições experimentais com baixa temperatura e elevada umidade relativa, bem como pelo acondicionamento em embalagens rígidas fechadas com tampa, que forma uma barreira física à perda de água para o ambiente.

As mangas sanitizadas com água eletrolisada a 150 mg L^{-1} apresentaram firmeza de 2,49 N, valor semelhante ao encontrado nas mangas sanitizadas com PC (2,48 N). Os outros tratamentos apresentaram firmezas muito próximas (2,10 N), não diferindo estatisticamente ($p > 0,05$) do controle (0 mg L^{-1} de cloro).

A firmeza apresentou comportamento cúbico no 6º e no 12º dia de armazenamento (Figura 7B), mas com variações da baixa amplitude, levando a concluir que essas variações foram aleatórias e não um padrão de comportamento da firmeza durante o período de armazenamento. Por outro lado, o decréscimo normal e esperado da firmeza (amolecimento) não ocorreu e, como não foi observado efeito de tratamento (Figura 7B), acredita-se que a manutenção da firmeza refletiu a menor perda de água (Figura 7A), uma vez que a pressão de turgescência celular é um dos principais componentes que determinam a firmeza dos frutos (Ding et al., 2020, 2021; Wang et al., 2023).

Em relação à cor dos cubos, os valores de luminosidade (Figura 7C) e b^* (Figura 7E) não se ajustaram a nenhum modelo durante o período de armazenamento. Nesse período, os valores médios de luminosidade decresceram significativamente, passando de 68,71 (dia 0) para 51,35 (12º dia), enquanto os valores de b^* passaram, em valores arredondados, de 70 para 30, indicando que os cubos de MMP se tornaram mais escuros e com coloração amarela menos intensa. Em contrapartida, os valores de a^* , no dia 0, aumentaram significativamente ($p < 0,05$, $R^2 = 0,99$), com a dosagem de água eletrolisada (Figura 7D), passando de 5, na água pura (0 mg L^{-1}), para 7, no tratamento com 300 mg L^{-1} . Esses valores de a^* no dia 0 mostram um pequeno efeito das soluções sanitizantes mais concentradas de AE ($0 \rightarrow 300 \text{ mg L}^{-1}$) em induzir uma coloração amarelo-avermelhada, o que, possivelmente, pode ter ocorrido devido à absorção pelas mangas da cor vermelha oriunda do cloreto de potássio (KCl) utilizado para produzir a água eletrolisada.

Análises físico-químicas

Os sólidos solúveis (SS) apresentaram o mesmo comportamento linear decrescente no 6º dia de armazenamento (Figura 8A) para os cubos de MMP tratados. Os cubos de MMP tratado com AE apresentaram valores de sólidos solúveis semelhantes aos das mangas tratadas com PC. Analisando a curva ($y = -0,0025x + 16,363$), verifica-se que os efeitos dos tratamentos foram muito baixos ($-0,0025x$), resultando em um efeito máximo de $-0,75$ °Brix na dosagem de 300 mg L^{-1} ($-0,0025 \cdot 300 = -0,75$). Esses resultados evidenciam de forma clara que os cubos de MMP, independentemente do tratamento, apresentaram valores semelhantes de sólidos solúveis, não havendo efeito do tratamento nesse atributo de qualidade.

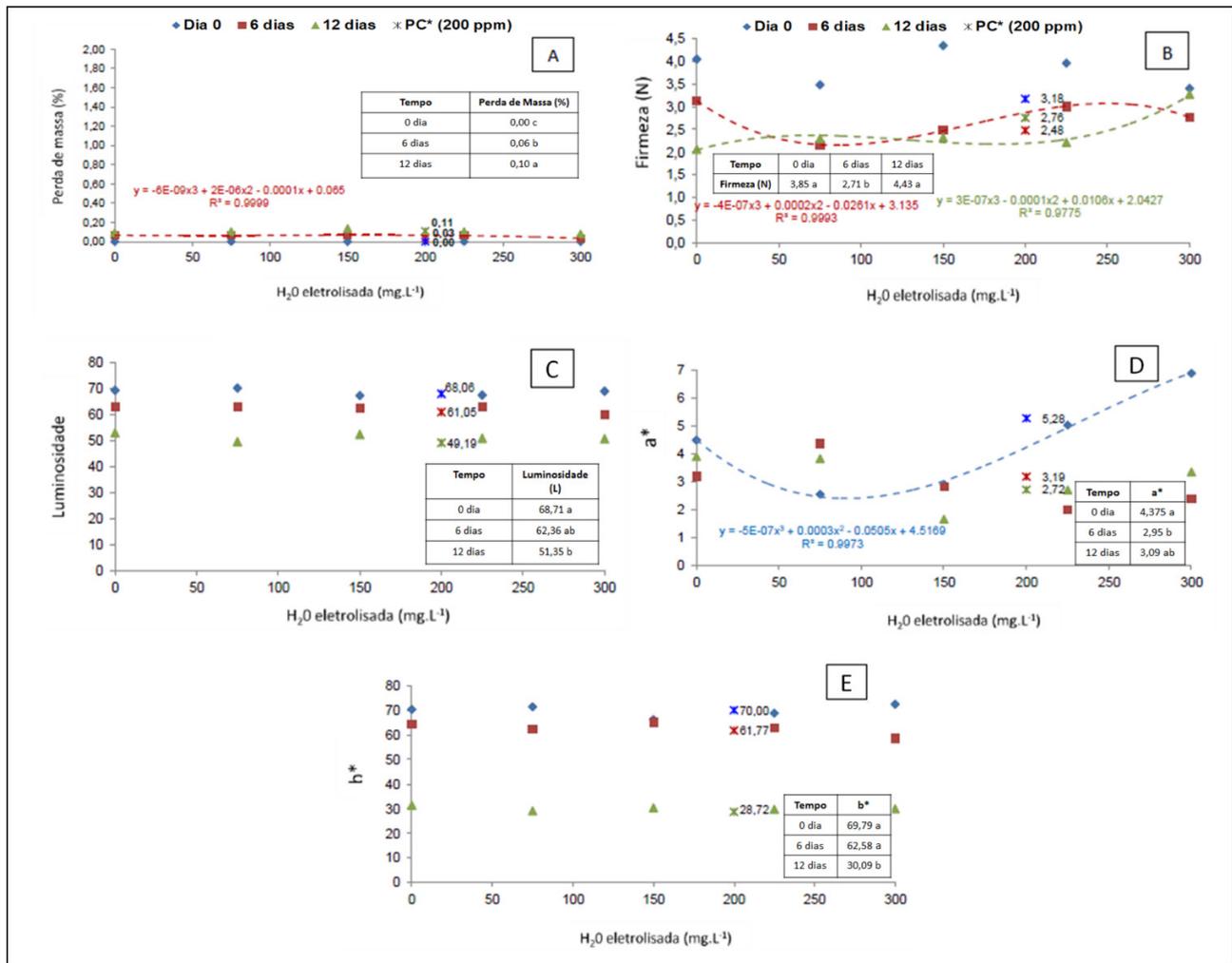


Figura 7. Perda de massa (A), firmeza (B), luminosidade (C), cor a* (D) e cor b* (E) dos cubos de manga Tommy Atkins sanitizadas com água eletrolisada (0, 75, 150, 225 e 300 mg L⁻¹ de cloro livre) ou produto comercial (PC, 200 mg L⁻¹ de cloro), minimamente processadas e armazenadas sob refrigeração (3 ± 2 °C e 85 ± 5% UR) por 12 dias.

Durante os períodos de armazenamento refrigerado, as variações na acidez titulável (AT) foram dependentes do tempo e não dos tratamentos sanitizantes (Figura 8B). Nos dois primeiros períodos de armazenamento, não foram observadas diferenças significativas na acidez titulável dos cubos de MMP tratados, ocorrendo diminuição no último dia de armazenamento (tabela na Figura 8B). A redução da acidez durante o armazenamento é normal (Zhang; Jiang; Zhang, 2023) e, até certo ponto, desejável, uma vez que contribui para o incremento da relação SS/AT (Figura 8C) e, por conseguinte, na sensação de doçura. Além disso, os valores de AT observados encontram-se dentro dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Manga (PIQ-Manga), que estabelece a acidez titulável mínima de 0,32 g ácido cítrico 100 g⁻¹, conforme a Instrução Normativa N° 1, de 7 de janeiro de 2000, que dispõe sobre o Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de

identidade e qualidade para polpa de frutas – DOU, N° 6, de 10/01/2000. Seção 1, p. 54-58 (Brasil, 2000).

A acidez titulável (AT) e os valores da relação SS/AT nos cubos de MMP não foram influenciados pelos tratamentos, mas pelo tempo de armazenamento (Figura 8C). O aumento na relação SS/AT ao final do armazenamento (tabela na Figura 8C) refletiu a redução na acidez titulável (Figura 8B), uma vez que os sólidos solúveis (SS) permaneceram basicamente constantes (Figura 8A). É importante destacar que os sólidos solúveis (SS), quando medidos por refratometria, incluem açúcares, ácidos orgânicos, pectinas solúveis, antocianinas e outros compostos fenólicos (Kader, 2008; Beckles, 2012), razão pela qual nem a sanitização das mangas com água eletrolisada e nem o tempo de armazenamento influenciaram ($p > 0,05$) os teores de açúcares totais (Figura 8D) ou redutores (Figura 8E).

Com relação aos carotenoides, houve interação significativa dos tratamentos e tempo no 6º dia de armazenamento (Figura 8F), com valores na polpa variando de 1,45 a 1,76 mg 100 g⁻¹ nos frutos submetidos à sanitização com água eletrolisada (225 e 300 mg L⁻¹), respectivamente. As oscilações nos teores de carotenoides (Figura 8F) não se refletiram na variação da cor laranja-avermelhada, medida pela coordenada de cor a* (Figura 7D), devido,

possivelmente, ao baixíssimo efeito de tratamento apresentado pelo modelo cúbico ($y = -1,7x^3 + 7,5x^2 - 0,0122x + 1,710$), em que x representa as dosagens de água eletrolisada. Com relação ao efeito do tempo, ocorreu redução nos teores de carotenoides totais apenas no 12º dia (tabela na Figura 8F), refletindo-se, de forma semelhante, na redução na cor laranja-avermelhada da manga Tommy Atkins (Figura 7D).

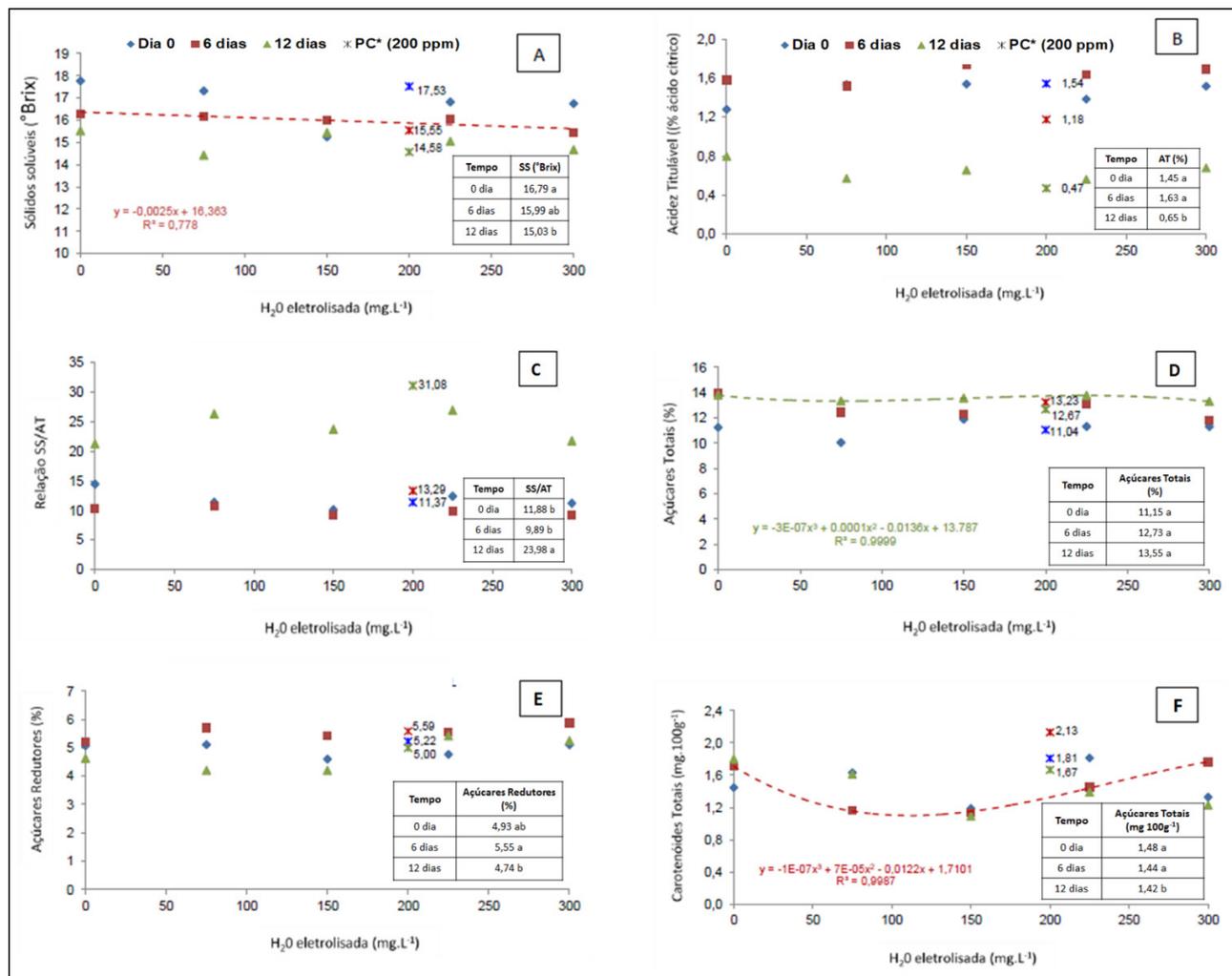


Figura 8. Teor de sólidos solúveis (°Brix) (A), acidez titulável (%) (B), relação SS/AT (C), açúcares totais (%) (D), açúcares redutores (%) (E) e carotenoides totais (mg 100 g⁻¹) (F) dos cubos de manga Tommy Atkins sanitizadas com água eletrolisada (0, 75, 150, 225 e 300 mg L⁻¹ de cloro livre) ou produto comercial (PC, 200 mg L⁻¹ de cloro), minimamente processadas e armazenadas sob refrigeração (3 ± 2 °C e 85 ± 5% UR) por 12 dias.

Conclusões

As mangas tratadas com água eletrolisada e minimamente processadas mantiveram os atributos físicos e físico-químicos de qualidade equivalentes

àquelas submetidas à sanitização com produto comercial. Com base neste trabalho, recomenda-se a aplicação de água eletrolisada na concentração de 150 mg L⁻¹, como uma condição ideal para preservar a qualidade das mangas minimamente processadas.

Agradecimentos

À Embrapa Agroindústria Tropical pela infraestrutura e pelo pessoal de apoio; e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Frutas Tropicais – INCT-FT (CNPq N° 465.335/2014-4) pelo suporte financeiro e pelas bolsas.

Referências

- AL-HAQ, M. I.; SUGIYAMA, J. Application of Electrolyzed Water in food processing. **ASAE Annual International Meeting 2004**, v. 300, n. 4, p. 7461-7472, 2004.
- ALI, M.; BATOOL, S.; KHALID, N.; ALI, S.; RAZA, M. A.; LI, X.; XINHUA, Z. Recent trends in hydrogen-associated treatments for maintaining the postharvest quality of fresh and fresh-cut fruits and vegetables: A review. **Food Control**, v. 156, p. 110-114, 2024.
- ALVES, J. A.; NASSUR, R.; PIRES, C. R. F.; ALCÂNTARA, E. M.; GIANNONI, J. A.; LIMA, L. C. O. Cinética de degradação de Vitamina C em mangas 'Palmer' minimamente processadas armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 714-721, 2010.
- AOAC Official Method 932.12, Solids (Soluble) in Fruits and Fruit Products: Refractometer Method', in Dr. George W Latimer, Jr. (ed.). **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL**, 22nd Edition (New York, 2023; online edn, AOAC Publications, 4 Jan. 2023). DOI: <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.3368>. Acesso em: 27 maio 2025.
- AOAC Official Method 942.15, Acidity (Titratable) of Fruit Products', in Dr. George W Latimer, Jr. (ed.). **Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL**, 22nd Edition (New York, 2023; online edn, AOAC Publications, 4 Jan. 2023). DOI: <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.3390>. Acesso em: 27 maio 2025.
- BAI, Y.; LI, J.; HUANG, M.; YAN, S.; LI, F.; XU, J.; PENG, Z.; WANG, X.; MA, J.; SUN, J.; YANG, B.; CUI, S. Prevalence and characterization of foodborne pathogens isolated from fresh-cut fruits and vegetables in Beijing, China. **International Journal of Food Microbiology**, v. 421, p. 110804, 2024.
- BECKLES, D. M. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 63, n. 1, p. 129-140, 2012.
- BRASIL. Instrução Normativa, nº 1, de 7 de janeiro de 2000. Dispõe sobre o Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de frutas. **DOU**, nº 6, de 10/01/2000. Seção 1, p. 54-58.
- CHINCHKAR, A. V.; SINGH, A.; SINGH, S. V.; ACHARYA, A. M.; KAMBLE, M. G. Potential sanitizers and disinfectants for fresh fruits and vegetables: A comprehensive review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, n. 10, p. 1-18, 2022.
- CHOUHAN, S.; SHARMA, K.; GULERIA, S. Antimicrobial Activity of Some Essential Oils – Present Status and Future Perspectives. **Medicines**, v. 4, n. 3, p. 58, 2017.
- CORATO, U. Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 6, p. 940-975, 2020.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes - Estatística Experimental e Matrizes**. Viçosa: Editora UFV, 2006.
- DA SILVA, I. M. C. B. Sodium hydroxide (CAS No. 62-53-3). **Revista Virtual de Química**, v. 4, n. 1, p. 73-82, 2012.
- DEJAEGER, K.; CRIQUET, J.; VANOPPEN, M.; VIGNAL, C.; BILLON, G.; CORNELISSEN, E. R. Identification of disinfection by-product precursors by natural organic matter fractionation: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 20, n. 6, p. 3861-3882, 2022.
- DING, C.; FENG, Z.; WANG, D.; CUI, D.; LI, W. Acoustic vibration technology: Toward a promising fruit quality detection method. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 2, p. 1655-1680, 2021.
- DING, C.; WU, H.; FENG, Z.; WANG, D.; LI, W.; CUI, D. Online assessment of pear firmness by acoustic vibration analysis. **Postharvest Biology and Technology**, v. 160, p. 111042, 2020.
- DING, X.; MA, J.; LIU, S.; DONG, X.; PAN, X.; DONG, B. Acid electrolytic water treatment improves the quality of fresh-cut red pitaya fruit by regulating ROS metabolism and phenylpropanoid pathway. **Postharvest Biology and Technology**, v. 207, p. 112636, 2024.
- DU, Y.; TIAN, Q.; LI, G.; YI, J.; HU, X.; JIANG, Y. Advanced application of slightly acidic electrolyzed water for fresh-cut fruits and vegetables preservation. **Food Research International**, v. 195, p. 114996, 2024.
- GAO, Q.; YANG, Z.; BI, B.; HE, J. Effects of Slightly Acidic Electrolyzed Water on the Quality of Fresh-Cut Apple. **Foods**, v. 12, n. 1, p. 1-18, 2023.
- HUANG, Y. R.; HUNG, Y. C.; HSU, S. Y.; HUANG, Y. W.; HWANG, D. F. Application of electrolyzed water in the food industry. **Food Control**, v. 19, n. 4, p. 329-345, 2008.

- ISSA-ZACHARIA, A. Application of Slightly Acidic Electrolyzed Water as a Potential Sanitizer in the Food Industry. **Journal of Food Quality**, v. 2024, 2024.
- ISSA-ZACHARIA, A.; KAMITANI, Y.; MUHIMBULA, H. S.; NDABIKUNZE, B. K. A review of microbiological safety of fruits and vegetables and the introduction of electrolyzed water as an alternative to sodium hypochlorite solution. **African Journal of Food Science**, v. 4, p. 778-789, 2010.
- KADER, A. A. Flavor quality of fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 11, p. 1863-1868, 2008.
- KUMAR, V.; VERMA, P. A critical review on environmental risk and toxic hazards of refractory pollutants discharged in chlorolignin waste of pulp and paper mills and their remediation approaches for environmental safety. **Environmental Research**, v. 236, n. P1, p. 116728, 2023.
- LEE, W. N.; HUANG, C. H.; ZHU, G. Analysis of 40 conventional and emerging disinfection by-products in fresh-cut produce wash water by modified EPA methods. **Food Chemistry**, v. 256, p. 319-326, 2018.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, n. 22, p. 346-382, 1987.
- LOPES, M. M. A.; LUCENA, H. H.; SILVEIRA, M. R. S.; GARRUTI, D. S.; MACHADO, T. F.; ARAGÃO F. A. S.; SILVA, E. O. The use of electrolyzed water as a disinfectant for fresh cut mango. **Scientia Horticulturae**, v. 287, 2021.
- MEIRELES, A.; GIAOURIS, E.; SIMÕES, M. Alternative disinfection methods to chlorine for use in the fresh-cut industry. **Food Research International**, v. 82, p. 71-85, 2016.
- MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- NAM, J.-H.; YOO, J. S. Sublethal Sodium Hypochlorite Exposure: Impact on Resistance-Nodulation-Cell Division Efflux Pump Overexpression and Cross-Resistance to Imipenem. **Antibiotics**, v. 13, n. 9, p. 828, 2024.
- NYAMENDE, N. E.; SIGGE, G.; BELAY, Z. A.; MPAHLENI, B.; CALEB, O. J. Impacts of Electrolyzed Water Treatments on Bioactive Compounds and Microbial and Visual Quality of Minimally Processed 'Granny Smith' Apples. **Applied Sciences** (Switzerland), v. 14, n. 19, 2024.
- REBEZOV, M.; SAEED, K.; KHALIQ, A.; RAHMAN, S. J. U.; SAMEED, N.; SEMENOVA, A.; KHAYRULLIN, M.; DYDYKIN, A.; ABRAMOV, Y.; THIRUVENGADAM, M.; SHARIATI, M. A.; BANGAR, S. P.; LORENZO, J. M. Application of Electrolyzed Water in the Food Industry: A Review. **Applied Sciences** (Switzerland), v. 12, n. 13, 2022.
- SILVA, E. O.; PINTO, P. M.; JACOMINO, A. P.; SILVA, L. T. **Processamento Mínimo de Produtos Hortifrutícolas**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 139). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/915630/1/DOC11007.pdf>. Acesso em: 22 maio 2024.
- TENG, X.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S. Phototreatment (below 1100 nm) improving quality attributes of fresh-cut fruits and vegetables: A review. **Food Research International**, v. 163, p. 112252, 2023.
- THOMAS, G. A.; GIL, T. P.; MÜLLER, C. T.; ROGERS, H. J.; BERGER, C. N. From field to plate: How do bacterial enteric pathogens interact with ready-to-eat fruit and vegetables, causing disease outbreaks? **Food Microbiology**, v. 117, p. 104389, 2024.
- WANG, D.; DING, C.; FENG, Z.; JI, S.; CUI, D. Recent advances in portable devices for fruit firmness assessment. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 8, p. 1143-1154, 2023.
- YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The Estimation of Carbohydrates in Plant Extracts by Anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, n. 3, p. 508-514, 1954.
- ZHANG, W.; JIANG, Y.; ZHANG, Z. The role of different natural organic acids in postharvest fruit quality management and its mechanism. **Food Frontiers**, p. 1127-1143, 2023.
- ZHAO, L.; LI, S.; YANG, H. Recent advances on research of electrolyzed water and its applications. **Current Opinion in Food Science**, v. 41, p. 180-188, 2021.
- ZHAO, X.; MENG, X.; LI, W.; CHENG, R.; WU, H.; LIU, P.; MA, M. Effect of hydrogen-rich water and slightly acidic electrolyzed water treatments on storage and preservation of fresh-cut kiwifruit. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, n. 6, p. 5203-5210, 2021.



*Ministério da
Agricultura e Pecuária*