

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta **Tese** será disponibilizado somente a partir de 13/02/2025.

**Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”**

Faculdade de Ciências Farmacêuticas

**Qualidade de água de coco embalada em filmes
de polietileno de baixa densidade linear
incorporadas com nanopartículas de prata**

Sabrina da Costa Brito

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição para obtenção do título de Doutora em Alimentos e Nutrição.

Área de concentração: Ciências dos Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Marcos David Ferreira.

Araraquara

2023

Qualidade de água de coco embalada em filmes de polietileno de baixa densidade linear incorporadas com nanopartículas de prata

Sabrina da Costa Brito

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição para obtenção do título de Doutora em Alimentos e Nutrição.

Área de concentração: Ciências dos Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Marcos David Ferreira.

Araraquara

2023

B862q Brito, Sabrina da Costa.
Qualidade de água de coco embalada em filmes de polietileno de
baixa densidade linear incorporadas com nanopartículas de prata /
Sabrina da Costa Brito. – Araraquara: [S.n.], 2023.
109 f. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista. “Júlio de
Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Programa de Pós
Graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos. Área de
Concentração em Ciência dos Alimentos.

Orientador: Marcos David Ferreira.

1. Nanotecnologia. 2. Nanopartículas de prata. 3. Antimicrobianas.
4. Embalagens ativas. I. Ferreira, Marcos David, orient. II. Título.

Diretoria do Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - Faculdade de Ciências Farmacêuticas
UNESP - Campus de Araraquara

CAPES: 33004030055P6
Esta ficha não pode ser modificada

Araraquara, 23 de junho de 2023.

Certificamos que a *Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação* da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Revisou as citações no texto e referências bibliográficas, segundo a Norma **Estilo Vancouver** da tese de doutorado de "**Sabrina Costa Brito**" do Programa de Pós-graduação em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, área de Concentração: Ciência de Alimentos.

Atenciosamente,



Maria Irani Coito
Diretor Técnico de Serviço
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB-8/4.440

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/MCTI-SisNano (CNPq/442575/2019-0) e ao Research Fellowship (CNPq/310728/2019-3).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil- CAPES (Finance Code 001).

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, Project 13.16.04.041.00.00) e pela Rede Agronano-EMBRAPA.

Agradeço ao professor Dr. Marcos David Ferreira pela orientação ao longo de todo o doutorado.

Também agradeço a Embrapa pecuária, a Universidade de São Carlos e a Universidade de Ribeirão Preto pela colaboração nas análises realizadas neste trabalho. E meus agradecimentos também são direcionados a empresa Green Coco Ltda, sob o nome do Mr. Gamaliel Pires de Moura por fornecer as amostras de água de coco e a empresa Nanox por fornecer os pellets de AgNPs + SiO₂.

E agradeço à Faculdade de Ciências Farmacêuticas – UNESP e Embrapa Instrumentação por todo suporte e infraestrutura.

Resumo

Objetivo: Este estudo visou verificar a eficácia antimicrobiana e extensão da vida de prateleira em água de coco condicionada em filmes de polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) aditivados com nanopartículas de prata (AgNPs) dispersas no carregador de sílica (SiO_2) e hidroxiapatita (HAP), em diferentes concentrações em porcentagem (%) por filme polimérico.

Metodologia: Na pesquisa foram estudadas três concentrações diferentes de AgNPs (%) (0,2; 0,4 e 0,6) para ambos carregadores em filmes PEBDL, além do filme controle (sem nanopartículas). Tanto os aditivos AgNPs + SiO_2 e AgNPs + HAP quanto os filmes caracterizados por: difração de raio X (DRX), espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), microscopia eletrônica de varredura (FEG-SEM), espalhamento dinâmico de luz (DLS), potencial zeta, termogravimetria (TGA) e calorimetria diferencial de varredura (DSC). A ação antimicrobiana foi pesquisada contra os seguintes microrganismos, Gram Positivo: *Staphylococcus aureus*, Gram Negativo: *Escherichia coli* e os fungos *Penicillium expansum* e *Fusarium solani*; por meio das metodologias de atividade antimicrobiana por contato e imagens bacterianas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Na análise de vida de prateleira de água de coco foram realizados procedimentos físico-química de pH, acidez titulável, sólidos solúveis, cor, turbidez, compostos fenólicos, açúcares redutores e não redutores e minerais, e análises microbiológicas em psicotróficos, bolores e leveduras enterobactérias e *Salmonella* spp.

Resultados: A adição de AgNPs na matriz do PEBDL não interferiu nas propriedades químicas e térmicas dos filmes e não houve migração significativa de prata para o meio externo. Em relação a atividade antimicrobiana, foi observado que a maioria das concentrações realizaram uma inibição maior de 90% em todos os microrganismos estudados, independente do carregador, entretanto uma maior ação antimicrobiana foi para bactéria Gram positiva do que para a Gram negativa e entre os carregadores, a HAP foi mais efetiva. Com relação ao envase da água de coco em embalagens com nanotecnologia, verificou-se que, independentemente do carregador houve maior manutenção das características físico-química ao longo do período de armazenamento, correlacionando o resultado a redução da carga microbiana do produto em embalagem com AgNPs.

Conclusão: Os resultados desta pesquisa demonstraram que as embalagens com nanopartículas de prata, independente do carregador, e, mesmo em baixas concentrações são efetivas na manutenção e otimização da qualidade físico-química e microbiológicas da água de coco armazenada sob refrigeração acima de 5°C e em um período superior a 30 dias.

Palavras-Chave: nanotecnologia; nanopartículas de prata; antimicrobianas; embalagens ativas.

Abstract

Objective: This study aimed to verify the antimicrobial efficacy and extension of shelf life in coconut water conditioned in linear low density polyethylene (LLDPE) films added with silver nanoparticles (AgNPs) dispersed in the silica carrier (SiO₂) and hydroxyapatite (HAP), at different concentrations in percentage (%) per polymeric film. **Methodology:** In the research, three different concentrations of AgNPs (%) (0.2; 0.4 and 0.6) were studied for both carriers in LLDPE films, in addition to the control film (without nanoparticles). Both the AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP additives and the films characterized by: X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (FEG-SEM), dynamic light scattering (DLS), zeta potential, thermogravimetry (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC). The antimicrobial action was investigated against the following microorganisms, Gram Positive: *Staphylococcus aureus*, Gram Negative: *Escherichia coli* and the fungi *Penicillium expansum* and *Fusarium solani*; through the methodologies of antimicrobial activity by contact and bacterial images by scanning electron microscopy (SEM). In the analysis of the shelf life of coconut water, physical-chemical procedures of pH, titratable acidity, soluble solids, color, turbidity, phenolic compounds, reducing and non-reducing sugars and minerals, and microbiological analyzes on psychrotrophs, molds and enterobacterial yeasts were carried out and *Salmonella* spp. **Results:** The addition of AgNPs to the LLDPE matrix did not interfere with the chemical and thermal properties of the films and there was no significant silver migration to the external environment. Regarding antimicrobial activity, it was observed that most concentrations performed a greater than 90% inhibition in all microorganisms studied, regardless of the carrier, however a greater antimicrobial action was on Gram positive bacteria than Gram negative and between carriers, PAH was more effective. Regarding the bottling of coconut water in nanotechnology packages, it was verified that, regardless of the carrier, there was a greater maintenance of the physicochemical characteristics of this product throughout the storage period, correlating this result with the reduction of the microbial load of coconut water in packaging with AgNPs. **Conclusion:** The results of this research showed that packages with silver nanoparticles, regardless of the carrier and in low concentrations, are effective in maintaining and optimizing the physical-chemical and microbiological quality of water stored under refrigeration above 5°C and in a period longer than 30 days.

Keywords: nanotechnology; silver nanoparticles; antimicrobial; active packs.

Lista de Tabelas

Capítulo 1	Página
Table 1. Distribution of zeta potential (mV) data in composites AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP.	43
Table 2. Distribution of extrapolated onset degradation temperature (Tonset) and residual percentage at 700 °C (R(%)) of control and nanostructured samples (%).	46
Table 3 Distribution of melting temperature (T _m) and melting enthalpy (ΔH) data of control and nanostructured samples (%).	47
Table 4. Mean ± standard deviation data distribution of inhibition halo diameter (cm) in <i>S. aureus</i> and <i>E. coli</i> , with respect to 0.04, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 % concentration of AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP composites.	49
Table 5. Mean migration distribution data of LLDPE with AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP (μg/L) in non-acidic medium (pH > 4.5) and in acidic medium (pH <4.5).	57
 Capítulo 2	
Table 1. Distribution of pH mean data on days 0, 7, 14, 21, 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 0 days) of LLDPE control, AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP.	68
Table 2. Distribution of titratable acidity mean data (g/100mL) on days 0, 7, 14, 21, 28 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 0 days) of LLDPE control, AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP.	68
Table 3. Distribution of soluble solids mean data (°Brix) on days 0, 7, 14, 21, 28 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 0 days) of LLDPE control, AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP.	69
Table 4. Distribution of color mean data (Luminosity -L*) on days 0, 7, 14, 21, 28 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 0 days) of LLDPE control, AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP.	69
Table 5. Distribution of turbidity mean data on days 0, 7,14, 21, 28 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 0 days) of	70

LLDPE control, AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP.

Table 6. Distribution of phenolic compounds mean data (mg gallium acid/100mL) of DPPH capture in percentage (%) on days 0, 7, 14, 21, 28 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 0 days) of LLDPE control, AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP. 71

Table 7. Distribution of DPPH radical inhibition mean data in percentage (%) on days 0, 7, 14, 21, 28 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 0 days) of LLDPE control, AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP. 71

Table 8. Distribution of reducing and non-reducing sugars mean data (mg/ mL) on days 0, 7, 14, 21, 28 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 0 days) of LLDPE control, AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP. 72

Table 9. Distribution of mineral mean data (Ca, Mg, P, K, Na and S) in mg/L on days 0, 7, 14, 21, 28 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 0 days) of LLDPE control, AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP. 73

Table 10. Distribution of logarithmic growth mean data (CFU/ mL) of Psychrotrophs on days 7, 14, 21, 28 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 7 days) of LLDPE control, AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP. 76

Table 11. Distribution of log growth mean data (CFU/ mL) of molds on days 7, 14, 21, 28 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 7 days) of LLDPE control, AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP. 76

Table 12. Distribution of logarithmic growth mean data (CFU/ mL) of enterobacteria on days 7, 14, 21, 28 28 - 35, and relative difference percentage (35 to 7 days) of LLDPE control, AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP. 77

Lista de Figuras

Capítulo 1	Página
Fig. 1. Intensity in arbitrary unit (a.u.) versus the diffraction angle $2\theta/^\circ$ of (a) silica and (b) hydroxyapatite.	36
Fig. 2. Intensity in arbitrary unit (a.u.) versus the diffraction angle $2\theta/^\circ$ of control and nanostructured samples: (a) control, (b) 0.2%, (c) 0.4% and (d) 0.6%.	37
Fig. 3. Transmittance versus wavenumber/cm-1 of (a) hydroxyapatite and (b)silica.	38
Fig. 4. Intensity in arbitrary unit (a.u) versus wavenumber/cm-1 of control and nanostructured samples: (a) control, (b) 0.2%, (c) 0.4% and (d) 0.6%.	39
Fig. 5. Surface (A) and cross-sectional (B) images of control LLDPE film.	40
Fig. 6. Surface (A) and cross-sectional (B) images, indicating AgNPs + SiO ₂ nanoparticles in LLDPE film.	41
Fig. 7. Surface (A) and cross-sectional (B) images, indicating AgNPs + HAP particles in the nanostructured LLDPE film.	42
Fig. 8. Intensity versus the size of AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP nanoparticles.	43
Fig. 9. TGA (black) and DTG (red) curves for control and nanostructured samples, AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP.	45
Fig. 10. Differential Scanning Calorimetry (DSC) in control and nanostructured samples: (a) control, (b) 0.2%, (c) 0.4% and (d) 0.6%.	47
Fig. 11. Inhibition halo formed in contact with the composite AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP, at concentrations of 0.04% (a), 0.2% (b), 0.4% (c), 0.6% (d) and 0.8% (e), in <i>S. aureus</i> and <i>E. coli</i> .	48
Fig. 12. Inhibition percentage results of <i>S. aureus</i> to LLDPE with AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP.	50
Fig. 13. Inhibition percentage results of <i>E. coli</i> to LLDPE with AgNPs + SiO ₂ and AgNPs + HAP.	51

Fig. 14. Inhibition percentage results of *Penicillium expansum* to LLDPE with AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP. 52

Fig. 15. Inhibition percentage results of *Fusarium solani* to LLDPE with AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP. 53

Fig. 16. *S. aureus* after 24h of contact with control LLDPE film and with LLDPE film with AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP. 55

Fig. 17. *E. coli* after 24h of contact with control LLDPE film and with LLDPE film with AgNPs + SiO₂ and AgNPs + HAP. 56

Capítulo 2

Fig. 1. Oxygen transmission rate (OTR [cm³/m².d.bar]) of control and nanostructured (SiO₂) samples: control, 0.4% and 0.6%. 74

Fig. 2. Oxygen transmission rate (OTR [cm³/m².d.bar]) of control and nanostructured (HAP) samples: control, 0.4% and 0.6%. 75

Sumário

	Página
Introdução	11
Objetivos	21
Capítulo 1. Antimicrobial potential of linear low-density polyethylene food packages with Ag nanoparticles in different carriers (SiO ₂ and HAP)	23
Capítulo 2. Microbiological and physical-chemical evaluation of the efficiency of silver nanoparticles on the shelf-life extension of coconut water	59
Referências	81

Introdução

A comercialização da água de coco no Brasil no ano de 2020 foi de 21,9 toneladas, sendo esta bebida avaliada no mercado global em 2021 em 5 bilhões de dólares e podendo valer 11,72 bilhões de dólares em 2027, esta valorização no mercado é reflexo de uma maior demanda de consumidores cientes dos benefícios do seu consumo (1,2), entretanto a água de coco é um produto que se deteriora facilmente quando exposta ao ar, sendo esta podendo ser ocasionada por atividades de microrganismos, contaminantes físicos e condições de armazenamento deficientes, além das atividades enzimáticas que é maior durante o manuseio deste produto (3–7), portanto torna atraente a incorporação de agentes antimicrobianos em garrafas plásticas de água de coco pronto para beber, assim reduzindo a sua deterioração e otimizando sua qualidade físico-química e microbiológica (8–12).

Água de Coco

O coqueiro (*Coco nucifera* L.), pertencente à família Arecaceae, é uma palmeira nativa das regiões tropicais, e amplamente cultivado na Ásia, América e África. Trazida para o Brasil na segunda metade do século XVI, tornou-se uma das mais importantes palmeiras cultivadas no país, sendo encontrado em quase todo o território brasileiro (5,13–15). O coco, cientificamente conhecido como *cocos nucifera*, é um fruto classificado como drupa fibrosa, que apresenta forma ovoide com vários tamanhos e cores (6). Em geral, um coco leva cerca de 12 meses para ficar maduro e pesa até 2 kg. Este fruto apresenta internamente duas partes comestíveis,

o núcleo branco (polpa) e o líquido claro (água de coco), e ambas podem ser processadas, fornecendo mais de 100 produtos e subprodutos (13,16).

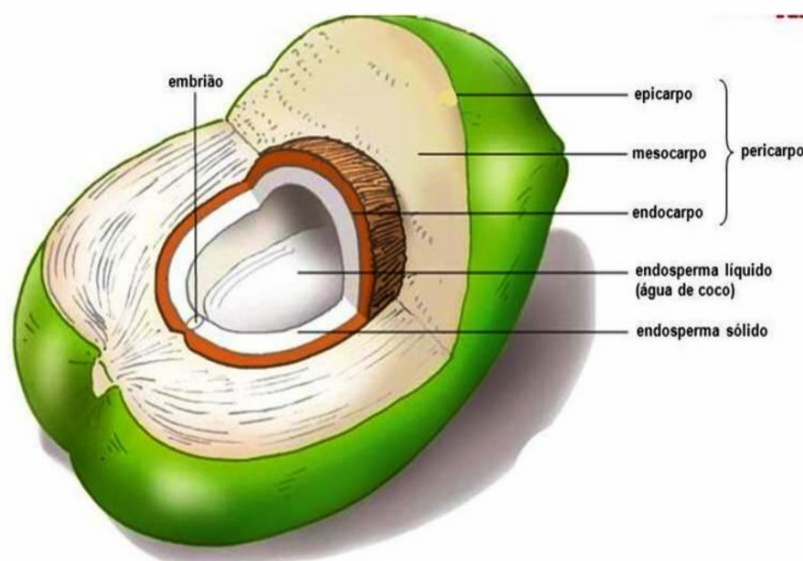


Fig. 1. Ilustração da morfologia do fruto *Coco nucifera* L. **Fonte:** Uzunian; Birner (2009)

A água de coco é um endosperma líquido que corresponde por aproximadamente 25% do peso do fruto, é uma bebida com sabor levemente adocicado e ácido, com coloração incolor (6,17,18). No terceiro mês de desenvolvimento do coco é encontrado em pequenas quantidades, mas com sete a oito meses ela atinge o máximo do seu volume (300-500 mL), e também é quando o sabor da água de coco está mais doce, este volume se mantém constante durante um ou dois meses, reduzindo até o final do madurecimento (100-150 mL) (6,14,15).

A água de coco é composta por sais minerais, proteínas e açúcares (glicose, sacarose e frutose), vitaminas e fitohormônios, sendo considerada uma bebida auxiliadora na saúde do consumidor, já que apresenta ações antioxidantes, cardioprotetor, anticancerígeno e hipoglicemiantes (17,19,20), além disso pode inibir e aliviar vários

problemas e distúrbios associados à saúde, como: diarreia, desidratação, problemas relacionados aos rins, infecção do trato urinário e entre outros (5,6,21).

Apesar de todas as suas características benéficas aos consumidores, a água de coco se deteriora facilmente quando exposta ao ar. A sua deterioração pode ser ocasionada por atividades de microrganismos, contaminantes físicos e condições de armazenamento deficientes, além das atividades enzimáticas que é maior durante o manuseio deste produto (3–7).

Em relação a sua atividade enzimática, vale ressaltar que duas enzimas se destacam, a peroxidase (POD) e a polifenol oxidase (PPO), ambas contribuem para o aparecimento de coloração rosa ou marrom na água de coco, já que são capazes de oxidar compostos fenólicos com o auxílio de oxigênio molecular, sendo esta síntese relacionada como um mecanismo de defesa do fruto. O resultado final das reações catalisadas é o escurecimento enzimático, que é indesejável, já que altera o sabor, odor e valor nutricional (14,22). Portanto aspectos físico-química como acidez, turbidez, compostos fenólicos e teor de minerais, devem ser analisados com frequência, já que estão relacionados com as reações enzimáticas indesejáveis (22).

Todas estas variáveis podem causar uma diminuição da qualidade da água de coco, refletindo em uma menor vida de prateleira e perda de suas qualidades sensoriais (sabor rançoso, turbidez e pigmentos marrom) e nutricionais, além disso, pode apresentar um risco para saúde do consumidor pelo consumo de micotoxinas de fungos ou até mesmo

infecções bacterianas (6,7,23).

A preservação e o processamento da água de coco sem alterar a sua composição química e sua natureza sensorial, é o maior desafio da indústria de processamento deste produto (6,7).

Atualmente o processo para o aumento de vida de prateleira da água de coco é realizada por meio do tratamentos térmicos, como a esterilização e a pasteurização, onde a primeira elimina todos os microrganismos e seus esporos originando produtos tipo tetra pak, que não precisa ser refrigerado e tem uma vida de prateleira maior que dez meses, e a pasteurização que destrói formas vegetativas dos microrganismos a qual possibilita um tempo de prateleira de 30 dias sob refrigeração, e ambos os tratamentos inativam as enzimas peroxidase e a polifenol oxidase (ambas contribuem para o aparecimento de coloração rosa ou marrom no produto (7,24–26).

O processamento de pasteurização da água de coco resfriada, começa com a seleção e sanitização dos frutos, para posteriormente ocorrer a sua extração, geralmente esta ação ocorre com o auxílio de um equipamento tipo furador de aço inox, este processo pode ser realizado por uma extratora manual ou automatizada. Nesta etapa é recomendado introduzir o equipamento na parte superior dos frutos, no pedicelo, parte que sustenta o fruto no cacho e também onde o leite é gerado (15).

Com a abertura, a água é vertida em um coletor de malha ou peneira, ambas de inox, que retém as partículas ou resíduos provenientes da etapa de extração, em seguida a água é conduzida a um pasteurizador de placas, com secções de aquecimento e resfriamento, onde é submetida a

temperaturas na faixa de 90-95 °C/60 segundos e resfriada até 35 °C, por fim a água de coco é envasada, esta pode ocorrer por meio de dosadoras manuais ou semiautomáticas. O armazenamento da água de coco, deve ser em temperatura máxima de 5 °C. Com este o binômio tempo *versus* temperatura da pasteurização, a água de coco em geral não irá sofrer mudanças significativas nas suas características sensoriais durante o armazenamento em refrigeração (15,27,28).

De acordo com (28) (2017) e (29) (2004), o tratamento térmico via pasteurização, proporciona uma vida de prateleira de 30 dias em temperatura de refrigeração controlada, entretanto observou-se que nas gôndolas e estoques de supermercados esta temperatura geralmente não é seguida, podendo encontrar refrigeradores com temperaturas de 7 a 10 °C (30,31).

Com as inadequações de refrigeração, mesmo com a pasteurização a água de coco apresenta uma vida de prateleira menor que 30 dias. Salienta-se que o tratamento térmico realiza uma redução parcial da carga microbiana em uma ordem de seis ciclos decimais, sendo que pela legislação brasileira, os padrões microbiológicos aceitáveis para comercialização de sucos e outras bebidas submetidas a processos tecnológicos para redução microbiana, que necessitam de refrigeração é: *Salmonella*, ausente, Enterobacteriaceae, 10^2 e bolores e leveduras de 10^2 (28,32).

Portanto, torna-se interessante uma tecnologia aplicada a embalagem da água de coco, com a incorporação de nanopartículas metálicas em polímeros, a qual contém em sua estrutura agentes antimicrobianos que

agem na redução microrganismos no produto alimentício; adicionalmente a pasteurização a água de coco terá mais um meio de segurança para manutenção da qualidade com ação antimicrobiana, principalmente durante distribuição, onde as condições de controle de temperatura são deficientes e um possível aumento da carga microbiana é presumível (9,28).

Embalagens

A embalagem é um meio eficaz de proteção de produtos alimentícios de contaminantes externos e outras influências (odores, choques, poeira, temperatura, danos físicos, luz, microrganismos e umidade), garantindo a prevenção de alterações químicas, físicas e biológicas (deterioração) dos alimentos, portanto é fundamental na qualidade e segurança dos alimentos, além de aumentar a vida de prateleira e minimizar o desperdício (8,10,11).

Os atributos que as embalagens devem apresentar são a compatibilidade com o produto alimentício, ser atóxico; oferecer proteção sanitária; proteger contra a passagem de umidade, gases, luz, gorduras e aromas, ser resistente a impactos físicos, ter boa aparência, ser de fácil eliminação e ter viabilidade econômica (33–36).

Dentre os materiais utilizados para embalagens, os polímeros são comumente usados para embalar alimentos, em particular os polietilenos e suas misturas, isso é devido a sua não toxicidade, alta durabilidade e facilidade de moldagem (12,37). Os exemplos de embalagens de polietileno incluem, garrafas, bandejas, tigela *bowl*, sacos, potes, filmes, *pouch*, e outros (37). Os materiais poliméricos utilizados nas embalagens

consistem, por exemplo, polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP), poliestireno (OS), cloreto de polivinil (PVC), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD) e o polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) (37).

PEBDL, é copolímero de etileno com α -olefina (1-buteno, 1-hexeno e 1-octeno), onde uma pequena fração de α -olefina, introduz ramificações de cadeia curta, que pode proporcionar o melhoramento das propriedades mecânicas e ópticas do PEBDL, sendo que as características mecânicas deste é melhor que dos filmes feitos de PEBD e PEAD (38,39). Devido suas atraentes características, como boa flexibilidade, resistência elétrica, estabilidade térmica, alta barreira de vapor de água e excelente resistência a substâncias, o PEBDL acaba sendo utilizado em muitas aplicações para embalagens de alimentos (40–42).

Bactérias e fungos, vêm ao longo dos anos sendo os responsáveis por várias doenças de origem alimentar, tornando-se uma das preocupações mais importantes na área de segurança alimentar no mundo (8). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2015, cerca de 600 milhões de pessoas foram afetadas por doenças transmitidas por alimentos e 420 mil casos de mortes pelo mesmo motivo, foram registrados no mundo todo a cada ano (8,43).

A contaminação de alimentos pode ocorrer durante a pós colheita, processamento e distribuição, portanto é necessário diminuir os riscos de doenças transmitidas por alimentos contaminados e as embalagens de alimentos podem em muito contribuir para a redução destas contaminações. (8,10).

A embalagem como dito anteriormente, é um meio eficaz de proteção dos produtos alimentícios, principalmente durante seu armazenamento, entretanto os materiais de embalagem convencionais não podem controlar ativamente as reações dentro do produto (10). A ciência e a engenharia de materiais, vêm apresentando novas tecnologias de embalagens, conhecidas como embalagem inteligente/ativa, que auxiliam na manutenção da qualidade e otimiza a segurança do alimento além de aumentar a vida de prateleira (8,10).

Uma das tecnologias de embalagens ativas, consiste na incorporação de agentes antimicrobianos na estrutura polimérica da embalagem, se destacando pela sua eficácia na redução da deterioração de alimentos e na otimização da segurança alimentar (8–12).

Vários tipos de antimicrobianos em polímeros foram estudados e desenvolvidos, em especial aqueles que continham nanopartículas antimicrobianas, com destaque para a prata, com a cadeia polimérica de polietilenos, utilizada em embalagens de alimentos, como pode ser observados pelos trabalhos de Abutalib & Rajeh, Ahmed et al., Becaro et al. e Brito et al. (9,44–46).

Nanotecnologia em Embalagens

Nanopartículas, cuja a escala de dimensão fica na faixa de 1–100 nm, tem como fenômeno o efeito de superfície, ou seja, o aumento da relação área/volume em matérias nanométricos. A redução do volume em detrimento com o tamanho, favorece o aumento da proporção de átomos na superfície, proporcionando propriedades físicas, químicas e ópticas

superiores quando comparadas com os mesmos materiais em escala macro (47–49).

Materiais em nanoescala, baseados em partículas metálicas ou óxidos de metal, vêm sendo empregados nas matrizes poliméricas para incluir a função antimicrobiana nestas estruturas (43). Dentre as nanopartículas se destaca a prata, a qual nas pesquisas realizadas por Becaro et al. (2015), Brito et al., (2020), Lazić et al. (2018), Roy et al. (2017) e Zhou et al. (2020a), mostrou que ela apresenta um espectro maior de atividade antimicrobiana quando comparado com outras nanopartículas metálicas.

Historicamente a prata é utilizada para a eliminação de bactérias, a fim de evitar infecções causadas por estas, mas quando este metal se encontra no tamanho nano, tem apresentado uma otimização do seu desempenho antimicrobiano (54,55), com isso as nanoestruturas da prata vem sendo aplicadas na medicina, cosmetologia e em alimentos (56).

O mecanismo de ação da prata ainda não foi totalmente elucidado, entretanto as suas propriedades antimicrobianas podem estar relacionadas com a liberação de íons de Ag, sendo estes os responsáveis pelas alterações morfológicas e na permeabilidade da membrana microbiana e danos intracelulares (9,52,57).

Entretanto a nanoescala da prata não é garantia de um eficiente desempenho antimicrobiano, pois isso também depende da uniformidade e dispersão destas nanopartículas (52,55). Nanopartículas de prata, apresentam uma alta tendência de formar aglomerados, devido à instabilidade decorrente da alta área de superfície/volume, portanto para evitar tal ocorrência a prata pode ser sintetizada com um carregador

inorgânico, a qual imobilizará a nanopartícula de prata, controlando o seu tempo de contato com os microrganismos, assim como o controle da taxa de liberação de íons prata (52,56,58).

Como carregadores inorgânicos da prata, é de grande interesse escolher a mais utilizada no mercado que é a nano sílica mesoporosa, um substrato inorgânico, e a nano hidroxiapatita, que é tipo de fosfato de cálcio, pois ambas apresentam características favoráveis como biocompatibilidade, dispersibilidade, estabilidade química e grande área de superfície, além de ser baixo custo de produção e seguro para o consumo humano (9,51–53,56–58).

Em suma este trabalho visa investigar se há diferença na eficácia da ação antimicrobiana dos diferentes carregadores sob as nanopartículas de prata integradas em embalagens alimentícias, além disso verificar se esta tecnologia pode ser um mantenedor da qualidade físico-química e microbiológica pós pasteurização da água de coco, estendendo a vida de prateleira principalmente em ambientes a qual as condições de controle de temperatura não são eficazes, adicionalmente proporcionando a manutenção da qualidade microbiológica e físico-química por um período maior após o produto ser aberto para consumo

nas análises *in vitro* como na água de coco. No caso do produto alimentício, esta ação antimicrobiana refletiu em melhores resultados físico-química ao longo de 35 dias, portanto estas embalagens com nanopartículas, independente do carregador, possibilitou que a água de coco ter uma vida de prateleira com qualidade além dos 30 dias estipulados para o produto e em refrigeração acima da recomendada ideal pela legislação, além disso estas embalagens não promoveram migração de seus aditivos para o alimento, portanto demonstrando que as nanopartículas de prata pode ter um grande potencial de uso em garrafas para água de coco como também para outras bebidas pasteurizadas.

Referências

1. Research D. Global Coconut Water Market: Analysis By Type, By Form, By Packaging, By Distribution Channel, By Region, Size and Trends with Impact of COVID-19 and Forecast up to 2027 [Internet]. September. 2022 [cited 2022 Jan 2]. p. 139. Available from:
https://www.reportlinker.com/p06325451/Global-Coconut-Water-Market-Analysis-By-Type-By-Form-By-Packaging-By-Distribution-Channel-By-Region-Size-and-Trends-with-Impact-of-COVID-19-and-Forecast-up-to.html?utm_source=GNW
2. Maria Simone de Castro Pereira Brainer. Coco: produção e mercado. Cad Setorial ETENE. 2021;(206):1–13.
3. Bhullar MS, Patras A, Kilanzo-Nthenge A, Pokharel B, Yannam SK, Rakariyatham K, et al. Microbial inactivation and cytotoxicity evaluation of UV irradiated coconut water in a novel continuous flow spiral reactor.

- Food Res Int [Internet]. 2018;103:59–67. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.004>
4. Ochoa-Velasco CE, Díaz-Lima MC, Ávila-Sosa R, Ruiz-López II, Corona-Jiménez E, Hernández-Carranza P, et al. Effect of UV-C light on *Lactobacillus rhamnosus*, *Salmonella Typhimurium*, and *Saccharomyces cerevisiae* kinetics in inoculated coconut water: Survival and residual effect. *J Food Eng*. 2018;223:255–61.
 5. Segura-Badilla O, Lazcano-Hernández M, Kammar-García A, Vera-López O, Aguilar-Alonso P, Ramírez-Calixto J, et al. Use of coconut water (*Cocus nucifera* L) for the development of a symbiotic functional drink. *Heliyon*. 2020;6(3).
 6. Naik M, Sunil CK, Rawson A, Venkatachalapathy N. Tender Coconut Water : A Review on Recent Advances in Processing and Preservation
Tender Coconut Water : A Review on Recent Advances in Processing and Preservation. *Food Rev Int* [Internet]. 2020;00(00):1–22. Available from: <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1785489>
 7. Donsingha S, Assatarakul K. Kinetics model of microbial degradation by UV radiation and shelf life of coconut water. *Food Control*. 2018;92:162–8.
 8. Bahrami A, Delshadi R, Assadpour E, Jafari SM, Williams L. Antimicrobial-loaded nanocarriers for food packaging applications. *Adv Colloid Interface Sci*. 2020;278.
 9. Brito S da C, Bresolin JD, Sivieri K, Ferreira MD. Low-density polyethylene films incorporated with silver nanoparticles to promote antimicrobial efficiency in food packaging. *Food Sci Technol Int*. 2020;1–

- 14.
10. Mousavi Khaneghah A, Hashemi SMB, Limbo S. Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions. *Food Bioprod Process*. 2018;111:1–19.
11. Han JW, Ruiz-Garcia L, Qian JP, Yang XT. Food Packaging: A Comprehensive Review and Future Trends. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2018;17(4):860–77.
12. Galli R, Hall MC, Breitenbach ER, Colpani GL, Zanetti M, de Mello JMM, et al. Antibacterial polyethylene - Ethylene vinyl acetate polymeric blend by incorporation of zinc oxide nanoparticles. *Polym Test*. 2020;89(April).
13. Prades A, Dornier M, Diop N, Pain JP. Coconut water preservation and processing: A review. *Fruits*. 2012;67(3):157–71.
14. Yin CS. Coconut Handbook. Liu S, editor. Singapore: Tetra Pak South East Asia Pte Ltd; 2016. 186 p.
15. Penha E das M, Cabral LMC, Matta VM da. Água de coco. In: Venturini WG, editor. *Bebidas não alcoólicas: Ciência e tecnologia*. 1st ed. São Paulo: Blucher; 2010. p. 1–12.
16. Naik M, Sunil CK, Rawson A, Venkatachalapathy N. Tender Coconut Water: A Review on Recent Advances in Processing and Preservation. *Food Rev Int [Internet]*. 2022;38(6):1215–36. Available from: <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1785489>
17. Biswas K, Mohanta YK, Kumar VB, Hashem A, Fathi Abd_Allah E, Mohanta D, et al. Nutritional assessment study and role of green silver nanoparticles in shelf-life of coconut endosperm to develop as functional food. *Saudi J Biol Sci [Internet]*. 2020;27(5):1280–8. Available from:

- <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.01.011>
18. Rajashri K, Rastogi NK, Negi PS. Non- thermal Processing of Tender Coconut Water - A Review. *Food Rev Int* [Internet]. 2020; Available from: <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1847142>
 19. Beristaín-Bauza S, Martínez-Niño A, Ramírez-González AP, Ávila-Sosa R, Ruíz-Espinosa H, Ruiz-López II, et al. Inhibition of *Salmonella* Typhimurium growth in coconut (*Cocos nucifera* L.) water by hurdle technology. *Food Control*. 2018;92:312–8.
 20. Rajashri K, Roopa BS, Negi PS, Rastogi NK. Effect of ozone and ultrasound treatments on polyphenol content, browning enzyme activities, and shelf life of tender coconut water. *J Food Process Preserv*. 2020;44(3):1–11.
 21. Camargo Prado F, De Dea Lindner J, Inaba J, Thomaz-Soccol V, Kaur Brar S, Soccol CR. Development and evaluation of a fermented coconut water beverage with potential health benefits. *J Funct Foods* [Internet]. 2015;12:489–97. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.020>
 22. Kwiatkowski A, Oliveira DM, Clemente E. Atividade Enzimática e Paramêtros Fisico-Químicos de Água de Cocos Colhidos em Diferentes Estádios de Desenvolvimento e Estação Climática. *Rev Bras Frutic*. 2012;34(2):551–9.
 23. Birkelund T, Johansen RF, Illum DG, Dyrskog SE, Østergaard JA, Falconer TM, et al. Fatal 3-nitropropionic acid poisoning after consuming coconut water. *Emerg Infect Dis*. 2021;27(1):278–80.
 24. Cappelletti M, Ferrentino G, Endrizzi I, Aprea E, Betta E, Corollaro ML, et

- al. High Pressure Carbon Dioxide pasteurization of coconut water: A sport drink with high nutritional and sensory quality. J Food Eng [Internet]. 2015;145:73–81. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.012>
25. Reddy KV, Das M, Das SK. NONTHERMAL STERILIZATION OF GREEN COCONUTWATER FOR PACKAGING. J Food Qual. 2007;30(2007):466–80.
 26. Santos T. Pasteurização x Esterilização de alimentos: quais as diferenças? [Internet]. <https://foodsafetybrazil.org/pasteurizacao-x-esterilizacao-quais-as-diferencas/>. 2022. p. 1. Available from:
<https://foodsafetybrazil.org/pasteurizacao-x-esterilizacao-quais-as-diferencas/>
 27. Brasil. Instrução normativa nº9: Estabelece os padrões de identidade e qualidade para a água de coco, bem como os respectivos parâmetros analíticos. MAPA. 2020;22(1):38.
 28. Abreu FAP de, Souza ACR de. Água de Coco Pasteurizada em Sistemas HTST: Fabricação em Pequenas e Médias Escalas de Processamento. Embrapa Agroindústria Trop. 2017;1:1–7.
 29. Schmidt FL, Castro MFPMG, Ferracini H, Leitão MFF. Practices of making and application from the analysis of dangers and control critics points in the coconut water processing. Hig Aliment. 2004;18(121):65–76.
 30. Montanhini MTM, Parades F. Storage temperature of pasteurized milk traded by supermarkets in Curitiba, Paraná. Vigilância Sanitária em Debate. 2015;3(5):94–8.
 31. Silva SEL da, Paz DS, Bratfich KSB, Sebastião C, Silva L das G,

- Rodrigues RA. Thermal storage of chilled broilers in supermarkets and the risk of transmission of *Salmonella* spp. *Brazilian J Dev.* 2020;6(11):87679–87.
32. Brasil. Resolução da diretoria colegiada- RDC N° 331. Padrões microbiológicos de alimentos e sua aplicação. ANVISA. 2019;249:1–6.
 33. Brody AL, Bugusu B, Han JH, Sand CK, McHugh TH. Innovative food packaging solutions. *J Food Sci.* 2008;73(8):107–16.
 34. Gava AJ, Silva CAB, Frias JRG. Embalagem de Alimentos. In: Gava AJ, editor. *Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações*. 2nd ed. São Paulo: Nobel; 2008. p. 105–27.
 35. Manrich S. Processamento de termoplásticos. In: S M, editor. *Processamento de termoplásticos*. São Paulo: Artliber; 2005.
 36. Piringer OG, Baner AL. Preservation of quality through packaging. In: Piringer OG, Baner AL, editors. *Plastic Packaging Materials for Food: Barrier Function, Mass Transport, Quality Assurance, and Legislation*. 1st ed. Weinheim: Wiley-VCH; 2000. p. 4–8.
 37. Geueke B, Groh K, Muncke J. Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. *J Clean Prod.* 2018;193:491–505.
 38. Du W, Ren Y, Tang Y, Shi Y, Yao X, Zheng C, et al. Different structure transitions and tensile property of LLDPE film deformed at slow and very fast speeds. *Eur Polym J [Internet]*. 2018;103(April):170–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.04.003>
 39. Yaqub N, Farooq WA, AlSalhi MS. Nonlinear optical properties of LLDPE composites with titanium dioxide anatase phase. *J King Saud Univ - Sci*

- [Internet]. 2022;34(1):101723. Available from:
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101723>
40. Chaudhari BC, Khanderay J, Patil C, Patil AM, Joshi SA, Singh V, et al. Waste Eggshells for the Decoration of Carbon Nanotubes and Graphene Nanosheets with Hydroxyapatite for Preparation of LLDPE Nanocomposites. *J Polym Environ* [Internet]. 2019;27(11):2352–9. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01501-3>
 41. Panrong T, Karbowiak T, Harnkarnsujarit N. Effects of acetylated and octenyl-succinated starch on properties and release of green tea compounded starch/LLDPE blend films. *J Food Eng* [Internet]. 2020;284(February):110057. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110057>
 42. Medeiros GR, Ferreira SRS, Carciofi BAM. High pressure carbon dioxide for impregnation of clove essential oil in LLDPE films. *Innov Food Sci Emerg Technol*. 2017;41:206–15.
 43. Ahmed J, Mulla M, Arfat YA, Bher A, Jacob H, Auras R. Compression molded LLDPE films loaded with bimetallic (Ag-Cu) nanoparticles and cinnamon essential oil for chicken meat packaging applications. *Lwt* [Internet]. 2018;93(March):329–38. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.051>
 44. Becaro AA, Puti FC, Panosso AR, Gern JC, Brandão HM, Correa DS, et al. Postharvest Quality of Fresh-Cut Carrots Packaged in Plastic Films Containing Silver Nanoparticles. *Food Bioprocess Technol*. 2016;9(4):637–49.
 45. Abutalib MM, Rajeh A. Enhanced structural, electrical, mechanical

- properties and antibacterial activity of Cs/PEO doped mixed nanoparticles (Ag/TiO₂) for food packaging applications. *Polym Test* [Internet]. 2021;93:107013. Available from:
<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.107013>
46. Ahmed J, Mulla M, Arfat YA, Bher A, Jacob H, Auras R. Compression molded LLDPE films loaded with bimetallic (Ag-Cu) nanoparticles and cinnamon essential oil for chicken meat packaging applications. *Lwt* [Internet]. 2018;93(October 2017):329–38. Available from:
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.051>
 47. Roduner E. Size matters: Why nanomaterials are different. *Chem Soc Rev*. 2006;35(7):583–92.
 48. Hochella MF. Nanoscience and technology: The next revolution in the Earth sciences. *Earth Planet Sci Lett*. 2002;203(2):593–605.
 49. Waychunas GA. Structure, aggregation and characterization of nanoparticles. *Rev Mineral Geochemistry*. 2001;44(1):105–66.
 50. Becaro AA, Puti FC, Correa DS, Paris EC, Marconcini JM, Ferreira MD. Polyethylene Films Containing Silver Nanoparticles for Applications in Food Packaging: Characterization of Physico-Chemical and Anti-Microbial Properties. *J Nanosci Nanotechnol* [Internet]. 2015;15(3):2148–56. Available from:
<http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=1533-4880&volume=15&issue=3&spage=2148>
 51. Lazić V, Smičiklas I, Marković J, Lončarević D, Dostanić J, Ahrenkiel SP, et al. Antibacterial ability of supported silver nanoparticles by functionalized hydroxyapatite with 5-aminosalicylic acid. *Vacuum*.

- 2018;148:62–8.
52. Roy A, Butola BS, Joshi M. Synthesis, characterization and antibacterial properties of novel nano-silver loaded acid activated montmorillonite. *Appl Clay Sci.* 2017;146(February):278–85.
 53. Zhou Q, Wang T, Wang C, Wang Z, Yang Y, Li P, et al. Synthesis and characterization of silver nanoparticles-doped hydroxyapatite/alginate microparticles with promising cytocompatibility and antibacterial properties. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.* 2020;585(March 2019).
 54. Damm C, Neumann M, Münstedt H. Properties of nanosilver coatings on polymethyl methacrylate. *Soft Mater.* 2005;3(2–3):71–88.
 55. Olmos D, Pontes-Quero G, Corral A, González-Gaitano G, González-Benito J. Preparation and Characterization of Antimicrobial Films Based on LDPE/Ag Nanoparticles with Potential Uses in Food and Health Industries. *Nanomaterials* [Internet]. 2018;8(2):60. Available from: <http://www.mdpi.com/2079-4991/8/2/60>
 56. Pawliszak P, Malina D, Sobczak-Kupiec A. *Rhodiola rosea* extract mediated green synthesis of silver nanoparticles supported by nanosilica carrier. *Mater Chem Phys* [Internet]. 2019;234(May):390–402. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.05.027>
 57. Zhang X, Chaimayo W, Yang C, Yao J, Miller BL, Yates MZ. Silver-hydroxyapatite composite coatings with enhanced antimicrobial activities through heat treatment. *Surf Coatings Technol.* 2017;325:39–45.
 58. Fereidoon A, Memarian S, Albooyeh A, Tarahomi S. Influence of mesoporous silica and hydroxyapatite nanoparticles on the mechanical

- and morphological properties of polypropylene. *Mater Des* [Internet]. 2014;57:201–10. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2013.12.046>
59. Coutinho FMB, Mello IL, Santa Maria LC de. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros* [Internet]. 2003;13(1):01–13. Available from:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000100005&lng=pt&tlng=pt
 60. Galli R, Hall MC, Breitenbach ER, Colpani GL, Zanetti M, de Mello JMM, et al. Antibacterial polyethylene - Ethylene vinyl acetate polymeric blend by incorporation of zinc oxide nanoparticles. *Polym Test*. 2020;89(February).
 61. Silva C, Bobillier F, Canales D, Sepúlveda FA, Cament A, Amigo N, et al. Mechanical and antimicrobial polyethylene composites with CaO nanoparticles. *Polymers (Basel)*. 2020;12(9).
 62. Muangprakaew P, Luangsa-Ard N, Komatatitaya J. Study of Physical, Mechanical, and Barrier Properties in Linear Low-Density Polyethylene Mixed with Silver Zeolite Nanoparticles (Ag-zeolite) Film. *Indian J Sci Technol*. 2021;14(31):2526–34.
 63. Moniri Javadhesari S, Alipour S, Mohammadnejad S, Akbarpour MR. Antibacterial activity of ultra-small copper oxide (II) nanoparticles synthesized by mechanochemical processing against *S. aureus* and *E. coli*. *Mater Sci Eng C* [Internet]. 2019;105(110011):1–10. Available from:
<https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110011>
 64. Król A, Pomastowski P, Rafińska K, Railean-Plugaru V, Buszewski B.

- Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antiseptic activity and toxicity mechanism. *Adv Colloid Interface Sci.* 2017;249:37–52.
65. Hoseinnejad M, Jafari SM, Katouzian I. Inorganic and metal nanoparticles and their antimicrobial activity in food packaging applications. *Crit Rev Microbiol* [Internet]. 2018;44(2):161–81. Available from: <https://doi.org/10.1080/1040841X.2017.1332001>
 66. Duffy LL, Osmond-McLeod MJ, Judy J, King T. Investigation into the antibacterial activity of silver, zinc oxide and copper oxide nanoparticles against poultry-relevant isolates of *Salmonella* and *Campylobacter*. *Food Control.* 2018;92:293–300.
 67. Siddiqi KS, Husen A, Rao RAK. A review on biosynthesis of silver nanoparticles and their biocidal properties. *J Nanobiotechnology* [Internet]. 2018;16(14):1–28. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0334-5>
 68. Chougule SS, Gurme ST, Jadhav JP, Dongale TD, Tiwari AP. Low density polyethylene films incorporated with Biosynthesised silver nanoparticles using *Moringa oleifera* plant extract for antimicrobial, food packaging, and photocatalytic degradation applications. *J Plant Biochem Biotechnol* [Internet]. 2021;30(1):208–14. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13562-020-00584-7>
 69. Shen T, Wang Q, Li C, Zhou B, Li Y, Liu Y. Transcriptome sequencing analysis reveals silver nanoparticles antifungal molecular mechanism of the soil fungi *Fusarium solani* species complex. *J Hazard Mater* [Internet]. 2020;388(January):122063. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122063>

70. Peighambardoust SJ, Zahed-Karkaj S, Peighambardoust SH, Ebrahimi Y, Peressini D. Characterization of carboxymethyl cellulose-based active films incorporating non-modified and Ag or Cu-modified Cloisite 30B and montmorillonite nanoclays. *Iran Polym J (English Ed)*. 2020;29(12):1087–97.
71. Dehghani S, Peighambardoust SH, Peighambardoust SJ, Fasihnia SH, Khosrowshahi NK, Gullón B, et al. Optimization of the Amount of ZnO, CuO, and Ag Nanoparticles on Antibacterial Properties of Low-Density Polyethylene (LDPE) Films Using the Response Surface Method. *Food Anal Methods*. 2021;14(1):98–107.
72. Hajizadeh H, Peighambardoust SJ, Peighambardoust SH, Peressini D. Physical, mechanical, and antibacterial characteristics of bio-nanocomposite films loaded with Ag-modified SiO₂ and TiO₂ nanoparticles. *J Food Sci*. 2020;85(4):1193–202.
73. Mehr RK, Peighambardoust SJ, Peighambardoust SH. Preparation and Characterization of Corn Starch/Clay Nanocomposite Films: Effect of Clay Content and Surface Modific. *Starch*. 2018;70(3–4):1–41.
74. Castro-Mayorga JL, Fabra MJ, Pourrahimi AM, Olsson RT, Lagaron JM. The impact of zinc oxide particle morphology as an antimicrobial and when incorporated in poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) films for food packaging and food contact surfaces applications. *Food Bioprod Process [Internet]*. 2017;101:32–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2016.10.007>
75. Malafatti JOD, Bernardo MP, Moreira FKV, Ciol H, Inada NM, Mattoso LHC, et al. Electrospun poly(lactic acid) nanofibers loaded with silver

- sulfadiazine/[Mg–Al]-layered double hydroxide as an antimicrobial wound dressing. *Polym Adv Technol*. 2020;
76. Munhoz DR, Bernardo MP, Malafatti JOD, Moreira FKV, Mattoso LHC. Alginate films functionalized with silver sulfadiazine-loaded [Mg–Al] layered double hydroxide as antimicrobial wound dressing. *Int J Biol Macromol*. 2019;141.
 77. Al-Shabib NA, Husain FM, Ahmad I, Khan MS, Khan RA, Khan JM. Rutin inhibits mono and multi-species biofilm formation by foodborne drug resistant *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Food Control* [Internet]. 2017;79:325–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.004>
 78. Kim JH, Yoo JG, Ham JS, Oh MH. Direct detection of *Escherichia coli*, *staphylococcus aureus*, and *Salmonella* spp. in animal-derived foods using a magnetic bead-based immunoassay. *Korean J Food Sci Anim Resour*. 2018;38(4):727–36.
 79. Alghuthaymi MA, Abd-Elsalam KA, Shami A, Said-Galive E, Shtykova E V., Naumkin A V. Silver/chitosan nanocomposites: Preparation and characterization and their fungicidal activity against dairy cattle toxicosis *penicillium expansum*. *J Fungi*. 2020;6(2).
 80. Jeelani PG, Mulay P, Venkat R, Ramalingam C. Multifaceted Application of Silica Nanoparticles. A Review. *Silicon*. 2020;12(6):1337–54.
 81. Mehmood A, Ghafar H, Yaqoob S, Gohar UF, Ahmad B. Mesoporous Silica Nanoparticles: A Review. *J Dev Drugs*. 2017;06(02).
 82. Dong W, Su J, Chen Y, Xu D, Cheng L, Mao L, et al. Characterization and antioxidant properties of chitosan film incorporated with modified silica

- nanoparticles as an active food packaging. Food Chem [Internet]. 2022;373(PA):131414. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131414>
83. Biswas MC, Tiimob BJ, Abdela W, Jeelani S, Rangari VK. Nano silica-carbon-silver ternary hybrid induced antimicrobial composite films for food packaging application. Food Packag Shelf Life [Internet]. 2019;19(March 2018):104–13. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.12.003>
 84. Wu C, Zhu Y, Wu T, Wang L, Yuan Y, Chen J, et al. Enhanced functional properties of biopolymer film incorporated with curcumin-loaded mesoporous silica nanoparticles for food packaging. Food Chem [Internet]. 2019;288(January):139–45. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.010>
 85. Ciobanu CS, Iconaru SL, Le Coustumer P, Constantin LV, Predoi D. Antibacterial activity of silver-doped hydroxyapatite nanoparticles against gram-positive and gram-negative bacteria. Nanoscale Res Lett. 2012;7:1–9.
 86. Loo SCJ, Moore T, Banik B, Alexis F. Biomedical Applications of Hydroxyapatite Nanocomposites. Curr Pharm Biotechnol. 2010;11(4):333–42.
 87. Maghsoodi MR, Ghodszad L, Asgari Lajayer B. Dilemma of hydroxyapatite nanoparticles as phosphorus fertilizer: Potentials, challenges and effects on plants. Environ Technol Innov [Internet]. 2020;19:100869. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100869>
 88. Nasrallah DA, Ibrahim MA. Enhancement of physico-chemical, optical, dielectric and antimicrobial properties of polyvinyl alcohol/carboxymethyl

- cellulose blend films by addition of silver doped hydroxyapatite nanoparticles. *J Polym Res* [Internet]. 2022;29(3). Available from: <https://doi.org/10.1007/s10965-022-02943-5>
89. Sciena CR, dos Santos MF, Moreira FKV, Sena Neto AR, Marconcini JM, Correa DS, et al. Starch:Pectin Acidic Sachets Development for Hydroxyapatite Nanoparticles Storage to Improve Phosphorus Release. *J Polym Environ* [Internet]. 2019;27(4):794–802. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-019-01391-5>
 90. Khalil MMH, Ismail EH, El-Baghdady KZ, Mohamed D. Green synthesis of silver nanoparticles using olive leaf extract and its antibacterial activity. *Arab J Chem* [Internet]. 2014;7(6):1131–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.04.007>
 91. Pagno CH, Costa TMH, De Menezes EW, Benvenutti E V., Hertz PF, Matte CR, et al. Development of active biofilms of quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) starch containing gold nanoparticles and evaluation of antimicrobial activity. *Food Chem* [Internet]. 2015;173:755–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.068>
 92. Avila-Sosa R, Hernández-Zamoran E, López-Mendoza I, Palou E, Munguía MTJ, Nevárez-Moorillón GV, et al. Fungal inactivation by mexican oregano (*lippia berlandieri schauer*) essential oil added to amaranth, chitosan, or starch edible films. *J Food Sci*. 2010;75(3):127–33.
 93. Spricigo PC, Trento JP, Bresolin JD. Methods of preparing flower stem samples for scanning electron microscopy. *Adv Ornament Horticult Landscaping*. 2015;21(1):17–26.

94. Mendes L. D., Bresolin J.D., Assis O.B.G., Britto D. Avaliação in vitro da ação da quitosana e de seu derivado quaternizado na inibição do crescimento do fungo *penicillium expansum*. *Brazilian J Biosyst Eng*. 2016;10(1):116–28.
95. Raffi M, Mehrwan S. Investigations into the antibacterial behavior of copper nanoparticles against *Escherichia coli*. *Ann Microbiol*. 2010;60:75–80.
96. Labanni A, Zulhadjri, Handayani D, Ohya Y, Arief S. Size controlled synthesis of well-distributed nano-silver on hydroxyapatite using alkanolamine compounds. *Ceram Int*. 2020;46(5):5850–5.
97. Santos MAFE, Lôbo IP, Da Cruz RS. Synthesis and characterization of novel ZrO₂-SiO₂ mixed oxides. *Mater Res*. 2014;17(3):700–7.
98. Mendes AC, Maia LJQ, Paris EC, Siu Li M. Solvent effect on the optimization of 1.54 μm emission in Er-doped Y₂O₃-Al₂O₃-SiO₂ powders synthesized by a modified Pechini method. *Curr Appl Phys*. 2013;13(8):1558–65.
99. Motaung T, Mochane M, Makhetha T, Motloun S, Mokhothu T, Mokhena T, et al. Effect of mechanical treatment on morphology and thermal and mechanical properties of sugar cane bagasse-low-density polyethylene composites. *Polym Compos [Internet]*. 2017;38(8):1497–503. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/pc.23717>
100. Madani M. Structure, optical and thermal decomposition characters of LDPE graft copolymers synthesized by gamma irradiation. *Curr Appl Phys [Internet]*. 2011;11(1):70–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cap.2010.06.021>

101. Wang YJ, Yan WD. Investigation on chain structure of LLDPE obtained by ethylene in-situ copolymerization with DSC and XRD. *Chinese Sci Bull.* 2007;52(6):736–42.
102. Lynch ME, Folz DC, Clark DE. Use of FTIR reflectance spectroscopy to monitor corrosion mechanisms on glass surfaces. *J Non Cryst Solids.* 2007;353(27):2667–74.
103. Gowri LAVS, Amorim T, Carneiro N, Souto AP, Esteves MF. Novel Copolymer for SiO₂ Nanoparticles Dispersion. *J Appl Polym Sci.* 2011;124:1553–61.
104. Gieroba B, Przekora A, Kalisz G, Kazimierczak P, Song CL, Wojcik M, et al. Collagen maturity and mineralization in mesenchymal stem cells cultured on the hydroxyapatite-based bone scaffold analyzed by ATR-FTIR spectroscopic imaging. *Mater Sci Eng C [Internet].* 2021;119(October 2020):111634. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111634>
105. Pereira FF, Paris EC, Bresolin JD, Foschini MM, Ferreira MD, Corrêa DS. Investigation of nanotoxicological effects of nanostructured hydroxyapatite to microalgae *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Ecotoxicol Environ Saf [Internet].* 2017;144(May):138–47. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.06.008>
106. Mulla M, Ahmed J, Al-Attar H, Castro-Aguirre E, Arfat YA, Auras R. Antimicrobial efficacy of clove essential oil infused into chemically modified LLDPE film for chicken meat packaging. *Food Control.* 2017;73:663–71.
107. Canevarolo S V. Microscópio Eletrônica da Varredura. In: Canevarolo S

- V, editor. Técnicas de Caracterização de Polímeros. 3rd ed. São Paulo: Artliber; 2017. p. 448.
108. Hemati F, Garmabi H. Compatibilised LDPE/LLDPE/nanoclay nanocomposites: I. Structural, mechanical, and thermal properties. *Can J Chem Eng.* 2011;89(1):187–96.
 109. Al-Salem SM, Bumajdad A, Khan AR, Sharma BK, Chandrasekaran SR, Al-Turki FA, et al. Non-isothermal degradation kinetics of virgin linear low density polyethylene (LLDPE) and biodegradable polymer blends. *J Polym Res.* 2018;25(5).
 110. Khonakdar HA. Dynamic mechanical analysis and thermal properties of LLDPE/EVA/modified silica nanocomposites. *Compos Part B Eng* [Internet]. 2015;76:343–53. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.02.031>
 111. Boschetto DL, Lerin L, Cansian R, Pergher SBC, Di Luccio M. Preparation and antimicrobial activity of polyethylene composite films with silver exchanged zeolite-Y. *Chem Eng J.* 2012;204–205:210–6.
 112. Pérez MA, Rivas BL, Garrido-Miranda KA, Campos-Requena VH, Martínez M, Castaño J, et al. Low Density Polyethylene (LDPE) nanocomposites with passive and active barrier properties. *J Chil Chem Soc.* 2014;59(2):2442–6.
 113. Bumbudsanpharoke N, Lee W, Ko S. A Comprehensive Feasibility Study on the Properties of LDPE-Ag Nanocomposites for Food Packaging Applications. *Polym Compos.* 2018;39:3178–86.
 114. Anh DH, Dumri K, Anh NT, Punyodom W, Rachtanapun P. Facile fabrication of polyethylene/silver nanoparticle nanocomposites with silver

- nanoparticles traps and holds early antibacterial effect. *J Appl Polym Sci.* 2016;133(17):1–8.
115. Liang X, Sun M, Li L, Qiao R, Chen K, Xiao Q, et al. Preparation and antibacterial activities of polyaniline/Cu_{0.05}Zn_{0.95}O nanocomposites. *Dalt Trans.* 2012;41(9):2804–11.
 116. Padmavathy N, Vijayaraghavan R. Enhanced bioactivity of ZnO nanoparticles - An antimicrobial study. *Sci Technol Adv Mater.* 2008;9(035004):1–7.
 117. Russell AD. Similarities and differences in the responses of microorganisms to biocides. *J Antimicrob Chemother.* 2003;52(5):750–63.
 118. Sondi I, Salopek-Sondi B. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: A case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *J Colloid Interface Sci.* 2004;275(1):177–82.
 119. Yamamoto O. Influence of particle size on the antibacterial activity of zinc oxide. *Int J Inorg Mater.* 2001;3(7):643–6.
 120. Rahimi G, Alizadeh F, Khodavandi A. Mycosynthesis of silver nanoparticles from *Candida albicans* and its antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Trop J Pharm Res.* 2016;15(2):371–5.
 121. Barzegar R, Safaei HR, Nemati Z, Ketabchi S, Talebi E. Green synthesis of silver nanoparticles using *Zygophyllum qatarense* Hadidi leaf extract and evaluation of their antifungal activities. *J Appl Pharm Sci.* 2018;8(3):168–71.
 122. Matei A, Matei S, Matei G-M, Cogălniceanu G, Cornea CP. Biosynthesis of silver nanoparticles mediated by culture filtrate of lactic acid bacteria,

- characterization and antifungal activity. *EuroBiotech J.* 2020;4(2):97–103.
123. Braga LR, Rangel ET, Suarez PAZ, Machado F. Simple synthesis of active films based on PVC incorporated with silver nanoparticles: Evaluation of the thermal, structural and antimicrobial properties. *Food Packag Shelf Life.* 2018;15(December):122–9.
 124. Malandrakis AA, Kavroulakis N, Avramidou M, Papadopoulou KK, Tsaniklidis G, Chrysikopoulos C V. Metal nanoparticles: Phytotoxicity on tomato and effect on symbiosis with the *Fusarium solani* FsK strain. *Sci Total Environ* [Internet]. 2021;787:147606. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147606>
 125. Al-Otibi F, Perveen K, Al-Saif NA, Alharbi RI, Bokhari NA, Albasher G, et al. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Malva parviflora* and their antifungal activity. *Saudi J Biol Sci* [Internet]. 2021;28(4):2229–35. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.01.012>
 126. Roy A, Bulut O, Some S, Mandal AK, Yilmaz MD. Green synthesis of silver nanoparticles: Biomolecule-nanoparticle organizations targeting antimicrobial activity. *RSC Adv* [Internet]. 2019;9(5):2673–702. Available from: <http://dx.doi.org/10.1039/C8RA08982E>
 127. Din MI, Arshad F, Hussain Z, Mukhtar M. Green Adeptness in the Synthesis and Stabilization of Copper Nanoparticles: Catalytic, Antibacterial, Cytotoxicity, and Antioxidant Activities. *Nanoscale Res Lett.* 2017;12(638):1–15.
 128. Happy Agarwal, Menon S, Venkat Kumar S, Rajeshkumar S. Mechanistic study on antibacterial action of zinc oxide nanoparticles synthesized using green route. *Chem Biol Interact.* 2018;286(November 2017):60–70.

129. Durán N, Durán M, de Jesus MB, Seabra AB, Fávaro WJ, Nakazato G. Silver nanoparticles: A new view on mechanistic aspects on antimicrobial activity. *Nanomedicine Nanotechnology, Biol Med* [Internet]. 2016;12(3):789–99. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nano.2015.11.016>
130. Brasil - Ministério da Saúde. Resolução da Diretoria Colegiada- RDC N° 326, de 3 de Dezembro de 2019-Estabelece a lista positiva de aditivos destinados à elaboração de materiais plásticos e revestimentos poliméricos em contato com alimentos e dá outras providências. *DOU*. 2019;1–163.
131. Carbone M, Donia DT, Sabbatella G, Antiochia R. Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging. *J King Saud Univ - Sci* [Internet]. 2016;28(4):273–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksus.2016.05.004>
132. Ahari H, Lahijani LK. Migration of silver and copper nanoparticles from food coating. *Coatings*. 2021;11(4).
133. Moraes L de O, Macedo EV, Granjeiro JM, Delgado IF. Critical evaluation of migration studies of silver nanoparticles present in food packaging: a systematic review. *Crit Rev Food Sci Nutr* [Internet]. 2020;60(18):3083–102. Available from: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1676699>
134. Adubofuor J, Amoah I, Osei-Bonsu I. Sensory and physicochemical properties of pasteurized coconut water from two varieties of coconut. *Food Sci Qual Manag* [Internet]. 2016;54(October):26–32. Available from: www.iiste.org
135. Silva SEL da, Paz DS, Bratfich KSB, Sebastião C, Silva L das G,

- Rodrigues RA. Armazenamento Térmico De Frangos Resfriados Em Supermercados E O Risco De Transmissão De Salmonella Spp / Thermal Storage of Chilled Broilers in Supermarkets and the Risk of Transmission of Salmonella Spp. *Brazilian J Dev.* 2021;7(1):10503–12.
136. Silva-Júnior AC, Nascimento JF do, Tostes E do SL, Silva A do SS da. Análises microbiológicas de carne bovina moída comercializada em supermercados. *Pubvet.* 2018;12(10):1–7.
137. Bezerra Oliveira AM, Sobral DO, Beckmam KRL, Camargo LVE, Madalena NP, Zuniga ADG. Avaliação Da Temperatura De Balcões Refrigerados De Supermercados De Palmas - To. *DESAFIOS - Rev Interdiscip da Univ Fed do Tocantins.* 2019;6(Especial):17–23.
138. Ebrahimi H, Abedi B, Bodaghi H, Davarynejad G, Haratizadeh H, Conte A. Investigation of developed clay-nanocomposite packaging film on quality of peach fruit (*Prunus persica* Cv. Alberta) during cold storage. *J Food Process Preserv.* 2018;42(2):1–9.
139. Brito S da C, Malafatti JOD, Arab FE, Bresolin JD, Paris EC, de Souza CWO, et al. One-pot synthesis of CuO, ZnO, and Ag nanoparticles: structural, morphological, and bactericidal evaluation. *Inorg Nano-Metal Chem [Internet].* 2022;0(0):1–11. Available from: <https://doi.org/10.1080/24701556.2022.2078358>
140. Becaro AA, Puti FC, Panosso AR, Gern JC, Brandão HM, Correa DS, et al. Postharvest Quality of Fresh-Cut Carrots Packaged in Plastic Films Containing Silver Nanoparticles. *Food Bioprocess Technol.* 2016;9(4):637–49.
141. Horwitz W. *Official Methods of Association of Official Analytical Chemists.*

- 13th ed. Chemists A of OA, editor. Washington DC; 1980. 1044 p.
142. Cheng Z, Moore J, Yu L. High-throughput relative DPPH radical scavenging capacity assay. *J Agric Food Chem.* 2006;54(20):7429–36.
 143. Chenlo F, Moreira R, Chaguri L, Torres MD. Effects of storage conditions on sugars and moisture content of whole chestnut fruits. *J Food Process Preserv.* 2010;34(4):609–20.
 144. Innocentini MD de M, Formigoni CE. Rapid pressure-decay technique for determining the O₂ and CO₂ permeability coefficients of polymeric films considering the gas compressibility effect. *Chem Eng Commun* [Internet]. 2023 Mar 13;1–8. Available from: <https://doi.org/10.1080/00986445.2023.2189108>
 145. Vasavada PC, F.J.Critzer. Psychrotrophic microorganisms. In: Salfinger Y, Tortorello ML, editors. *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. 5th ed. Washington: American Public Health Association; 2015. p. 175–89.
 146. Frank JF, Yousef AE. Tests for groups of microorganisms. In: Frank JF, Wehr HM, editors. *Standard Methods for the Examination of Dairy Products*. 17th ed. Washington: American Public Health Association; 2004. p. 227–48.
 147. Ryu D, Wolf-Hall C. Yeasts and molds. In: Salfinger Y, Tortorello ML, editors. *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. 5th ed. Washington; 2015. p. 277–86.
 148. Kornacki J., Gurtler JB, Stawick BA. Enterobacteriaceae, coliforms, and *Escherichia coli* as quality and safety indicators. In: Salfinger Y, Tortorello ML, editors. *Compendium of Methods for the Microbiological Examination*

- of Foods. 5th ed. Washington: American Public Health Association; 2015. p. 103–20.
149. ISO 6579:2002. Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the detection of *Salmonella* spp. 4th ed. 2002. 27 p.
 150. Chutia H, Mahanta CL. Influence of cold plasma voltage and time on quality attributes of tender coconut water (*Cocos nucifera* L.) and degradation kinetics of its blended beverage. *J Food Process Preserv.* 2021;45(4):1–12.
 151. Ma Y, Xu L, Wang S, Xu Z, Liao X, Cheng Y. Comparison of the quality attributes of coconut waters by high-pressure processing and high-temperature short time during the refrigerated storage. *Food Sci Nutr.* 2019;7(4):1512–9.
 152. Mahnot NK, Gupta K, Mahanta CL. Shelf life enhancement and associated quality and sensory changes on refrigerated storage of tender coconut water subjected to non-thermal microfiltration and treated with additives. *J Food Sci Technol.* 2019;56(7):3408–21.
 153. Pandiselvam R, Prithviraj V, Manikantan MR, Beegum PPS, Ramesh S V., Kothakota A, et al. Dynamics of biochemical attributes and enzymatic activities of pasteurized and bio-preserved tender coconut water during storage. *Front Nutr.* 2022;9.
 154. Ahmed J, Arfat YA, Al-Attar H, Auras R, Ejaz M. Rheological, structural, ultraviolet protection and oxygen barrier properties of linear low-density polyethylene films reinforced with zinc oxide (ZnO) nanoparticles. *Food Packag Shelf Life [Internet].* 2017;13(April):20–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.04.005>

155. Villaluenga JPG, Seoane B. Influence of drawing on gas transport mechanism in LLDPE films. *Polymer (Guildf)*. 1998;39(17):3955–65.
156. Tazeen H, Kannan M. *Research Journal of Agricultural Sciences* Changes in Gas Transmission Rate and Water Vapour Permeability in PP and LLDPE Nano Composite Films. *Res J Agric Sci*. 2019;(June).
157. Gouvea FS, Padilla-Zakour OI, Worobo RW, Xavier BM, Walter EHM, Rosenthal A. Effect of high-pressure processing on bacterial inactivation in açai juices with varying pH and soluble solids content. *Innov Food Sci Emerg Technol* [Internet]. 2020;66(August):102490. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102490>
158. Nguyen TT, Huynh Nguyen TT, Tran Pham BT, Van Tran T, Bach LG, Bui Thi PQ, et al. Development of poly (vinyl alcohol)/agar/maltodextrin coating containing silver nanoparticles for banana (*Musa acuminata*) preservation. *Food Packag Shelf Life* [Internet]. 2021;29(February):100740. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100740>
159. Vieira ACF, de Matos Fonseca J, Menezes NMC, Monteiro AR, Valencia GA. Active coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and silver nanoparticles to extend the papaya (*Carica papaya* L.) shelf life. *Int J Biol Macromol* [Internet]. 2020;164:489–98. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.130>