



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

DÉBORA SAMARA OLIVEIRA E SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO COM POTENCIAL PREBIÓTICO E
ANTIOXIDANTE E SUA APLICAÇÃO EM MELÃO MINIMAMENTE
PROCESSADO**

FORTALEZA

2021

DÉBORA SAMARA OLIVEIRA E SILVA

DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO COM POTENCIAL PREBIÓTICO E
ANTIOXIDANTE E SUA APLICAÇÃO EM MELÃO MINIMAMENTE PROCESSADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Fitotecnia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Raquel Alcântara de Miranda.

Co-orientadora: Dr^ª. Ana Paula Dionísio.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S579d Silva, Débora Samara Oliveira e.
Desenvolvimento de revestimento com potencial prebiótico e antioxidante e sua aplicação em melão minimamente processado / Débora Samara Oliveira e Silva. – 2021.
104 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Maria Raquel Alcântara de Miranda.
Coorientação: Profa. Dra. Ana Paula Dionísio.
1. Cucumis melo L.. 2. Pós-colheita. 3. Embalagem bioativa. 4. Alimento funcional. I. Título.
CDD 630
-

DÉBORA SAMARA OLIVEIRA E SILVA

DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO COM POTENCIAL PREBIÓTICO E
ANTIOXIDANTE E SUA APLICAÇÃO EM MELÃO MINIMAMENTE PROCESSADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Fitotecnia.

Aprovada em: 29/07/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Maria Raquel Alcântara de Miranda (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr^ª. Ana Paula Dionísio (Co-orientadora)
EMBRAPA Agroindústria Tropical

Prof^ª. Dr^ª. Maria Izabel Gallão
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr^ª. Luciana de Siqueira Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr^ª. Maria do Socorro Moura Rufino
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Ao Sagrado Coração de **Jesus** e Imaculado Coração de **Maria**, fonte viva e vivificante de vida eterna.

Aos meus amados pais **Ivonete e José** e a minha amada mãe (avó) **Cândida** por todo amor, orações, cuidado, tempo, força, energia e formação a mim dedicados.

Aos meus amados irmãos **Joabe Henrique** e **Verônica Sinara**, por todos os momentos de amor, alegria e proações que juntos compartilhamos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pai de bondade e de misericórdia, por Ser meu abrigo, meu socorro e refrigério nas horas de alegria e aflição.

Aos meus pais, Ivonete dos Santos Oliveira e Silva e José Clementino da Silva, minha mãe (avó) Cândida dos Santos, e meus irmãos Joabe Henrique Oliveira e Silva e Verônica Sinara Oliveira e Silva, pelo amor, carinho, alegria, cuidado, motivação e atenção sem reservas, por estarem comigo sempre em todos os momentos.

Aos meus sobrinhos, Rayanne Vitória Lima Oliveira e Silva, Yohanna Eloah Lins Oliveira e Silva e Lucas Henrique Sousa Oliveira e Silva, pela constante presença em minha vida, fazendo dos meus dias os mais alegres.

Ao meu noivo, Alexandre Formiga, por todo amor e orações, por caminhar ao meu lado, pelo permanente incentivo, preocupação, paciência e compreensão demonstrados em todos os momentos vividos.

A minha família, Comunidade Missão Resgate, amados e queridos combatentes, especialmente, a Geraldinho Correia e Débora Araújo, pelas orações, por iluminar e renovar nossas forças e esperança em Deus.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Maria Raquel Alcântara de Miranda, pela orientação, competência, profissionalismo, paciência, direcionamentos e dedicação tão importantes para à realização deste trabalho.

À minha co-orientadora, Dr^a. Ana Paula Dionísio, pela paciência, aconselhamentos, ensinamentos, entusiasmo e profissionalismo compartilhados de forma admirável para à realização deste trabalho.

A Universidade Federal do Ceará (UFC), em particular, ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade concedida em realizar o curso de doutorado.

À equipe do Laboratório de Bioquímica e Fisiologia de Frutos – LABFRUTOS, pela harmoniosa convivência, troca de conhecimentos e experiências, em especial a Prof^a. Dr^a. Maria Raquel (Coordenadora), Aline Gonzaga, Amanda Germano, Marília Cabral, Jadilson Macedo, Mônica Maria, Kellina Oliveira, Maria Ketully, Bianca, Alex Sanches, Luana Guimarães, Rute Xavier, Aristides Gomes, Claudilane, Carlota, Lorena Freire, Luciana Herculano, João Alves, Luiz Ferreira, Camila e João Lucas.

A Embrapa Agroindústria Tropical, na pessoa do chefe geral Gustavo Adolfo Saavedra Pinto, por disponibilizar a infraestrutura e equipamentos, especialmente, dos

Laboratórios de Processos Agroindustriais, Tecnologia de Biomassa, Pós-colheita, Análise de Alimentos, Microbiologia de Alimentos, Solos e Multiusuário de Química de Produtos Naturais para a condução do experimento e procedimentos analíticos.

À equipe do Laboratório de Processos Agroindustriais, Dr^a. Ana Paula, Erika Taciana, Ana Carolina, Glauber Batista, Cláudia Oliveira, Andressa Barbosa, Fátima, Gecyene, Arthur Cláudio, Amanda Leal, Dr^a. Ingrid, Glauber, Fernando Abreu, Diogo Rocha, Arleny, Gilleno, Dr. Nédio, Karol, Carmem, Dr^a. Ana Iraidy, Luciliano Cardoso e Danielle, pela receptividade e companheirismo diários, tornando os dias de trabalho mais leves e divertidos.

Aos servidores da Embrapa Agroindústria Tropical, em especial, à Adriano Mattos, Marcia Régia, Ionete, Arthur Cláudio, Cláudia Oliveira, Ídila Maria, Hilton Magalhães, Fernando Abreu, Dr. Carlos Alberto, Dr^a. Maria de Fátima Borges, Dr^a. Laura Bruno, Dr. Edy Brito e Paulo Ricelli por toda atenção e apoio dado durante o desenvolvimento da pesquisa e análises realizadas.

À Prof^a. Dr^a. Maria Izabel Gallão e sua equipe de trabalho, Rafael Guimarães e Jéssica Costa, pela disponibilidade, dedicação, orientação e auxílio nos procedimentos analíticos junto ao Departamento de Biologia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo incentivo financeiro e apoio a pesquisa.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Frutos Tropicais/CNPq Universal por impulsionar o desenvolvimento desta pesquisa.

À Central Analítica da Universidade Federal do Ceará por viabilizar às medidas de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Às professoras participantes da banca examinadora, Dr^a. Maria Izabel Gallão, Dr^a. Luciana de Siqueira Oliveira e a Dr^a. Maria do Socorro Moura Rufino, que gentilmente aceitaram participar e colaborar para o aperfeiçoamento do presente trabalho.

À Prof^a. Dr^a. Caciana Cavalcanti Costa e família, pelos longos anos de amizade, convívio e incentivo a mim dedicados.

Aos meus amigos, Aline Gonzaga, Amanda Germano, Erika Taciana e Jadilson Macedo pela amizade, por toda forma de ajuda, pela companhia durante um café, pelas inúmeras conversas e risadas. Vocês são muito especiais.

Aos meus amigos, Virgínia Maria, Elaine Cristina e Sanduel Andrade, que mesmo com a distância, sempre se fizeram presentes na minha vida e estarão sempre em meu coração.

A todos que contribuíram para a realização desta pesquisa, meus singelos agradecimentos.

RESUMO

Os revestimentos comestíveis e biodegradáveis têm sido utilizados na conservação de frutos minimamente processados, devido as suas propriedades de barreira às trocas gasosas e, ao mesmo tempo, podem servir como carreadores de ingredientes funcionais como o xarope de yacon que apresenta em sua composição frutooligossacarídeos (FOS) e compostos fenólicos potencialmente caritativos à saúde. Portanto, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver revestimento (filme) comestível à base de gelatina bovina adicionado de xarope de yacon como ingrediente funcional, e caracterizá-lo quanto ao seu potencial funcional e antioxidante, bem como, avaliar a sua aplicação como embalagem bioativa em melão minimamente processado. O xarope de yacon foi obtido por microfiltração e caracterizado por meio de análises físicas, químicas e físico-químicas. Os filmes de gelatina bovina com e sem o xarope de yacon foram avaliados por análises físicas, propriedades de barreira, ópticas e mecânicas. Os melões cantaloupe revestidos e não revestidos (controle) foram analisados quanto à qualidade, potencial antioxidante, integridade estrutural dos tecidos, análise microbiológica e compostos voláteis por sete dias a 10 °C. Os dados obtidos do estudo foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey 5% de probabilidade. Os resultados destacam que o xarope é um ingrediente com potencial para enriquecimento de alimentos, por seus altos níveis de compostos bioativos, ácido clorogênico, FOS e minerais. O filme comestível de gelatina com xarope de yacon caracterizou-se como um produto biotecnológico que pode exibir efeito protetor, potencial funcional para aplicação em frutos e hortaliças *in natura* e/ou processados. Os melões minimamente processados revestidos apresentaram altos conteúdos de compostos bioativos excelentes para a dieta humana, aptos ao consumo por cinco dias.

Palavras-chave: *Cucumis melo* L.; pós-colheita; embalagem bioativa; alimento funcional.

ABSTRACT

Edible and biodegradable coatings have been used in the preservation of processed fruits minimally, due to their barrier properties to gas exchange and, at the same time, they can serve as carriers of functional ingredients such as yacon syrup, which has fructooligosaccharides (FOS) and phenolic compounds in its composition potentially beneficial to health. Therefore, this research aims to develop edible coating (film) based on bovine gelatin added with yacon syrup as a functional ingredient, and characterize it as to its functional and antioxidant potential, as well as evaluate its application bioactive packaging in melon processed minimally. Yacon syrup was obtained by microfiltration characterized by physical, chemical and physicochemical analyses. The bovine gelatin films with and without yacon syrup were evaluated by physical, barrier, optical and mechanical properties. Coated and uncoated cantaloupe melons (control) were analyzed for quality, antioxidant potential, tissue structural integrity, microbiological analysis and volatile compounds for seven days at 10 °C. The data from the study were submitted to analysis of variance and Tukey's test at 5% of probability. The results highlight that the syrup is an ingredient with potential for food enrichment, due to its high levels of bioactive, chlorogenic acid, FOS and minerals compounds. The edible film of gelatin with yacon syrup was characterized as a biotechnological product that can exhibit a protective effect, potential for functional application in fresh and/or processed fruits and vegetables. The minimally processed coated melons had high contents of excellent bioactive compounds for the human diet, suitable to consumption for five days.

Keywords: *Cucumis melo* L.; post-harvest; bioactive packaging; functional food.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Principais variedades de melão cultivados no Brasil.....	18
Figura 2	– Produção de frutooligossacarídeos de sacarose por frutossiltransferase.....	25
Figura 3	– Estrutura química do ácido clorogênico.....	26
Figura 4	– Fluxograma do processamento para obtenção do xarope de yacon.....	44
Figura 5	– Cortes do melão minimamente processado corados com azul de Toluidina armazenado a 10 °C para os frutos controle e revestidos com gelatina adicionada de xarope de yacon por 6 dias.....	87
Figura 6	– Cortes do melão minimamente processado submetidos a reação do PAS armazenado a 10 °C para os frutos controle e revestidos com gelatina adicionada de xarope de yacon por 6 dias.....	88
Figura 7	– Micrografias em aumento de 100x do melão minimamente processado e armazenado a 10 °C para os frutos controle e revestidos com gelatina adicionada de xarope de yacon por 6 dias.....	90
Figura 8	– Heatmap com agrupamento hierárquico dos metabólitos obtidos do melão minimamente processado revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C.....	95
Figura 9	– Heatmap com agrupamento hierárquico dos principais metabólitos obtidos do melão minimamente processado revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C.....	96
Figura 10	– Boxplot dos principais metabólitos obtidos do melão minimamente processado revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Principais tipos de melão cultivados no Brasil.....	18
Tabela 2	– Características físico-químicas do xarope de yacon.....	54
Tabela 3	– Polifenóis extraíveis totais e atividade antioxidante do xarope de yacon.....	56
Tabela 4	– Composição química do xarope de yacon.....	57
Tabela 5	– Determinação de fibras e frutooligossacarídeos do xarope de yacon.....	58
Tabela 6	– Qualidade microbiológica de xarope de yacon.....	59
Tabela 7	– Cor (L^* , a^* , b^* , C e h) e opacidade dos filmes de gelatina com e sem xarope de yacon.....	60
Tabela 8	– Espessura, permeabilidade ao vapor de água (P_{VA}), umidade e matéria insolúvel dos filmes de gelatina com e sem adição de xarope de yacon.....	62
Tabela 9	– Ângulo de contato dos filmes de gelatina com e sem adição de xarope de yacon.....	63
Tabela 10	– Ensaio mecânico dos filmes de gelatina com e sem adição de xarope de yacon.....	63
Tabela 11	– Composição do xarope de yacon.....	77
Tabela 12	– Qualidade pós-colheita do melão minimamente processado revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C.....	85
Tabela 13	– Potencial antioxidante do melão minimamente processado e revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C.....	92
Tabela 14	– Qualidade microbiológica do melão minimamente processado e revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C.....	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAT	Atividade Antioxidante Total
ABTS	Ácido 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
AGCC	Ácidos graxos de cadeia curta
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOCS	American Oil Chemists' Society
ATT	Acidez Total Titulável
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agricultural Organization
FOS	Frutooligossacarídeos
FRAP	Poder Antioxidante de Redução do Ferro
IAL	Instituto Adolfo Lutz
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
PET	Polifenóis extraíveis totais
pH	Potencial hidrogeniônico
PPGAF	Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia
SST	Sólidos Solúveis Totais
TROLOX	6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico
UFC	Unidade formadora de colônia
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Aspectos agronômicos e botânicos da cultura do meloeiro.....	17
2.2	Qualidade e tecnologia pós-colheita do melão.....	19
2.3	Fisiologia dos vegetais minimamente processados.....	20
2.4	Revestimento pós-colheita.....	22
2.5	Yacon e seu potencial prebiótico.....	23
3	CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO DO XAROPE DE YACON E SUA APLICAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE UM REVESTIMENTO COM POTENCIAL PREBIÓTICO.....	39
3.1	Introdução.....	41
3.2	Material e métodos	43
3.2.1	<i>Material</i>.....	43
3.2.2	<i>Métodos</i>.....	43
3.2.2.1	Processo de obtenção do xarope de yacon.....	43
3.2.2.2	Caracterização do xarope de yacon	44
3.2.2.2.1	<i>Atributos físicos, químicos e físico-químicos</i>.....	44
3.2.2.2.2	<i>Potencial antioxidante</i>.....	45
3.2.2.2.3	<i>Composição química</i>.....	48
3.2.2.2.4	<i>Análise de fibra alimentar e frutooligossacarídeos (FOS)</i>.....	49
3.2.2.2.5	<i>Análise microbiológica</i>.....	50
3.2.2.3	Desenvolvimento e caracterização do revestimento de gelatina adicionado de xarope de yacon como fonte de FOS.....	50
3.2.2.3.1	<i>Cor e Opacidade</i>.....	50
3.2.2.3.2	<i>Espessura e propriedades que influenciam às relações hídricas</i>.....	51

3.2.2.3.3	<i>Ensaio mecânico</i>	52
3.2.2.4	Análise estatística.....	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5	CONCLUSÕES	65
6	CAPÍTULO III – APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COM POTENCIAL PREBIÓTICO E ANTIOXIDANTE EM MELÃO MINIMAMENTE PROCESSADO	72
6.1	Introdução	74
6.2	Material e métodos	76
6.2.1	Material	76
6.2.2	Métodos	76
6.2.2.1	Processamento mínimo.....	76
6.2.2.2	Preparação e aplicação do revestimento.....	76
6.2.2.3	Qualidade pós-colheita.....	77
6.2.2.3.1	<i>Perda de massa</i>	77
6.2.2.3.2	<i>Cor instrumental</i>	78
6.2.2.3.3	<i>Sólidos solúveis totais (SST)</i>	78
6.2.2.3.4	<i>Acidez total titulavel (ATT)</i>	78
6.2.2.3.5	<i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	78
6.2.2.4	Integridade estrutural dos tecidos.....	78
6.2.2.4.1	<i>Microscopia óptica</i>	78
6.2.2.4.2	<i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	79
6.2.2.5	Potencial antioxidante	79
6.2.2.5.1	<i>Determinação de polifenóis extraíveis totais (PET)</i>	80
6.2.2.5.2	<i>Flavonoides amarelos</i>	80
6.2.2.5.3	<i>Carotenoides totais</i>	80
6.2.2.5.4	<i>Determinação da atividade antioxidante total (AAT)</i>	81

6.2.2.6	Análises microbiológicas.....	81
6.2.2.7	Análise de compostos orgânicos voláteis.....	81
6.2.3	<i>Delineamento experimental e análise estatística</i>	82
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
8	CONCLUSÕES	99
9	CONCLUSÕES GERAIS	100
	REFERÊNCIAS	101

1 INTRODUÇÃO

O melão (*Cucumis melo* L.) é um fruto muito consumido e apreciado em todo o mundo, devido a sua qualidade sensorial atrativa. Por apresentar aceitabilidade e por ser pouco conveniente em função do tamanho, o melão é propício ao mercado de produtos minimamente processados.

Os frutos minimamente processados têm despertado interesse, pelo estilo de vida dos tempos atuais, por serem convenientes e práticos para consumidor. Contudo, a vida útil limitada é o maior problema enfrentado por estes produtos, em que à alta perecibilidade e exposição as condições do meio ambiente, permite a deterioração mais rápida do que os frutos íntegros (MANTILLA *et al.*, 2013; SIROLI *et al.*, 2015). Assim sendo, há necessidade de prolongar a vida útil desses produtos, tanto pelas mudanças ocorridas no perfil do consumidor, como pelo intervalo de tempo entre a produção e a distribuição dos produtos para atender aos mercados mais distantes, reduzir perdas e compensar flutuações da demanda (TAVASSOLI-KAFRANI *et al.*, 2016; YOUSUF *et al.*, 2018).

Os revestimentos comestíveis têm mostrado efeito significativo como tratamento pós-colheita em muitos frutos frescos e/ou minimamente processados por reduzir alterações nas propriedades fisiológicas, físico-químicas, sensoriais e microbiológicas e, conseqüentemente, estender a vida útil (YOUSUF *et al.*, 2018; MARINGGAL *et al.*, 2020). A técnica de revestimento comestível representa uma alternativa promissora para a conservação dos frutos e hortaliças minimamente processados, em função da camada fina formada após sua aplicação, eficaz na manutenção da qualidade e segurança dos produtos, agindo como barreira para solutos, gases e vapores, e transportador de compostos ativos como antimicrobianos, anti-branqueadores, antioxidantes, prebióticos para incrementar o potencial nutricional, funcional e sensorial desses produtos (YOUSUF *et al.*, 2018; HASSAN *et al.*, 2021)

Os revestimentos comestíveis são materiais biodegradáveis, não tóxicos, derivados de animais ou plantas que compreendem polissacarídeos, proteínas, lipídios ou uma combinação destes normalmente chamados de revestimentos compostos (HASSAN *et al.*, 2018). A gelatina é um biopolímero comestível para aplicações em embalagens de alimentos devido à sua alta biocompatibilidade, capacidade de formação de filme e biodegradabilidade. Contudo, as embalagens derivadas de gelatina são limitadas devido à falta de atividade biológica (RASID *et al.*, 2018). Portanto, as propriedades do revestimento de gelatina podem ser melhoradas por meio da incorporação de compostos bioativos, a fim de favorecer o seu potencial funcional.

Nesse contexto, os prebióticos que são carboidratos alimentares não digeríveis, que

quando fermentados produzem ácidos graxos de cadeia curta que estimulam o crescimento e/ou à atividade de um grupo de bactérias probióticas como *Bifidobacterium* spp. e *Lactobacillus* spp., no trato gastrointestinal desfavorecendo ação de bactérias patogênicas como o *Clostridium* spp. e a *Escherichia coli*, podem ser transportados dentro de matrizes poliméricas comestíveis (ROBERFROID *et al.*, 2010; GIBSON *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2020).

Como prebiótico, os frutooligosacarídeos (FOS) são oligossacarídeos produzidos por espécies vegetais, como yacon (*Smallanthus sonchifolius*), bactérias (*Bacillus macerans* e *Arthrobacter* sp.) e fungos (*Aspergillus niger*, *A. japonicus* e *Aureobasidium pullulans*), a partir de uma reação de transfrutossilacção catalisada pelas enzimas frutossiltransferase (FTase, EC 3.2.1.26) ou β -frutofuranosidase (EC 3.2.1.26), onde uma molécula de sacarose é hidrolisada e o radical frutossil é transferido para outra sacarose, consistindo em 1-kestose (GF₂), nistose (GF₃) e frutofuranosil nistose (GF₄) (SINGH *et al.*, 2016).

As raízes do yacon contêm quantidades consideráveis de FOS e compostos fenólicos como ácido clorogênico, o que torna essas raízes uma alternativa atraente para a aplicação em diversas rotas tecnológicas como produto inovador e benéfico a saúde (REINA *et al.*, 2015; CAETANO *et al.*, 2016), como o xarope de yacon, obtido a partir da microfiltração da polpa das raízes, que apresenta em sua composição FOS para uso como coadjuvante nutricional e funcional em sistemas alimentares (SILVA *et al.*, 2018).

Assim, considerando a perecibilidade dos frutos minimamente processados, bem como a técnica de revestimentos comestíveis incorporados com componentes funcionais, esta pesquisa objetiva desenvolver uma embalagem bioativa a base de gelatina adicionada de xarope de yacon, caracterizá-lo e investigá-lo quanto ao seu potencial prebiótico e antioxidante em melão minimamente processado.

2 CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos agronômicos e botânicos da cultura do meloeiro

A família das cucurbitáceas inclui aproximadamente 825 espécies como o meloeiro (*Cucumis melo* L.), pepino (*Cucumis sativus* L.) e melancia (*Citrullus lanatus*). O melão é originário do Irã e do Paquistão, amplamente cultivado nos países tropicais do mundo, e seu consumo está associado ao seu sabor adocicado, consistência suculenta, propriedades nutricionais e bioativas que auxiliam na promoção da saúde humana (RASHID *et al.*, 2011; VISHWAKARMA *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2020; GÓMEZ-GARCÍA *et al.*, 2020).

A produção total do melão foi superior a 27 milhões de toneladas sendo a região asiática responsável por 73,7%, acompanhado pelas Américas com 13,1%, em 2019 (FAO, 2021). No Brasil, os estados do Rio Grande do Norte e Ceará são maiores produtores de melão, em que a maior parte da produção é destinada ao mercado internacional. Em 2020, foram exportados mais de 236 mil toneladas de frutos, totalizando em aproximadamente US\$ 148 milhões. As exportações do melão brasileiro foram destinadas aos Países Baixos (83 mil toneladas), Espanha (66 mil toneladas), Reino Unido (59 mil toneladas), Itália e Canadá (KIST *et al.*, 2021).

Para o cultivo do melão, a elevada intensidade luminosa, alta temperatura e baixa umidade relativa do ar, são as condições ambientais ideais, de modo a promover o aumento da produtividade e a qualidade dos frutos (PARIS *et al.*, 2017). As plantas de meloeiro são andromonóicas, ou seja, exibem na mesma planta flores masculinas e hermafroditas, contudo, é possível observar plantas com flores com estrutura do tipo monóicas e ginóicas. A polinização das flores ocorre principalmente por meio de abelhas, porém pode ocorrer autopolinização e/ou polinização cruzada. Dependendo das condições ambientais, técnicas de cultivo e das cultivares utilizadas, o florescimento inicia-se por volta dos 18-25 dias após a semeadura (PARIS *et al.*, 2012; COSTA *et al.*, 2017).

A cultura do meloeiro compreende um número extenso de genótipos que são agrupados de acordo com as características de seus frutos. Na classificação mais recente, 16 variedades botânicas foram atribuídas à subespécie *Melo* abrangendo os grupos *flexuosus*, *inodorus*, *cantalupensis*, *reticulatus*, *adana*, *ameri*, *chandalak*, *chafe*, *tibish*, *dudaim* e *chito*, e a subespécie *Agrestis* que inclui os grupos *acidulus*, *conomom*, *momordica* e *makuwa*. Posteriormente, a variedade *tibish* foi inserida para a subespécie *agrestis* (PITRAT *et al.*, 2000; PITRAT, 2013).

Os grupos ou variedades botânicas comercialmente mais importantes no Brasil são: *Cucumis melo* var. *inodorus*, *Cucumis melo* var. *cantalupensis* - Naudin e *Cucumis melo* var. *reticulatus* (PITRAT *et al.*, 2000; PITRAT, 2008; PITRAT, 2013). Os tipos mais comercializados no mercado brasileiro são: Amarelo, Pele de Sapo, Honey Dew, Cantaloupe, Gália e Charentais (**Tabela 1**) (COSTA *et al.*, 2017; ANDRADE *et al.*, 2019).

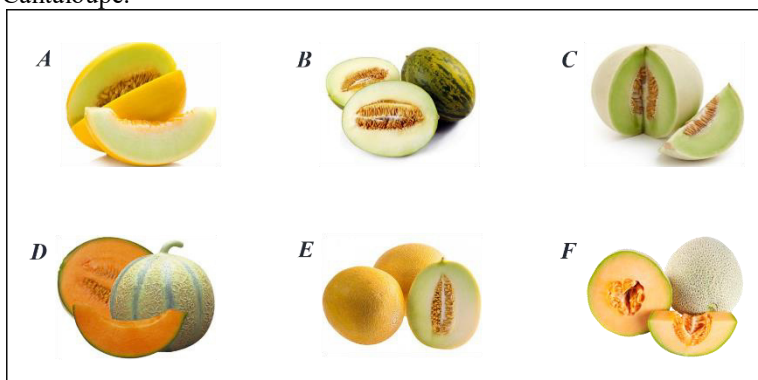
Tabela 1 – Principais tipos de melão cultivados no Brasil.

<i>Tipo Comercial</i>	<i>Variedade botânica</i>	<i>Híbridos comerciais</i>
<i>Amarelo</i>	<i>Inodorus</i>	<i>Goldex, Natal, Vereda e Gold mine</i>
<i>Pele de Sapo</i>	<i>Inodorus</i>	<i>Sancho, Medelin, Fitó 1500 e Daimiel</i>
<i>Honey Dew</i>	<i>Inodorus</i>	<i>Orange County, Royal Sweet e Athenas</i>
<i>Gália</i>	<i>Reticulatus</i>	<i>Estoril, Amaregal, McLaren, Cyro e Galileo</i>
<i>Cantaloupe</i>	<i>Reticulatus</i>	<i>Caribbean Gold, Florentino e Torreón</i>
<i>Charentais</i>	<i>Cantalupensis</i>	<i>Concorde, Sunrise, Mehary e Apodi</i>

Fonte: COSTA *et al.*, 2017; ANDRADE *et al.*, 2019.

Os frutos *inodorus* apresentam casca lisa com coloração amarela, branca ou verde escura, não possuem aroma, porém tem uma boa conservação pós-colheita. A polpa é geralmente espessa (20 a 30 mm) e com coloração amarela à esverdeada. Os *Cucumis melo* var. *reticulatus* são climatéricos e aromáticos, de sabor doce, com formato redondo ou ligeiramente oval, casca reticulada com ou sem costelas (suturas ou gomos) e cor variando de amarela à verde escura, polpa de coloração laranja (às vezes verde) e sementes amarelas (PITRAT *et al.*, 2000; PITRAT, 2008; PITRAT, 2013). Os frutos *cantalupensis* possuem casca recoberta com rendilhamento corticoso (*reticulatus*), polpa com coloração entre amarela e salmão, baixa resistência ao transporte e reduzida vida útil pós-colheita (**Figura 1**) (ARAGÃO, 2011).

Figura 1 – Principais variedades de melão cultivados no Brasil. **A:** Amarelo; **B:** Pele de sapo; **C:** Honey Dew; **D:** Charentais; **E:** Gália; **F:** Cantaloupe.



Fonte: COSTA *et al.* (2017).

Os frutos de meloeiro *cantaloupensis* e *reticulatus* apresentam padrão de amadurecimento climatérico, que consiste no aumento da taxa respiratória e da produção de etileno no início do processo de amadurecimento, enquanto os frutos não climatéricos (*inodorus*) não produzem etileno autocatalítico, favorecendo uma taxa de amadurecimento lenta associada a uma longa vida útil (LELIÈVRE *et al.*, 1997; FLORES *et al.*, 2002, BEAULIEU, 2005).

2.2 Qualidade e tecnologia pós-colheita do melão

Os frutos são apreciados por serem ricos em nutrientes, açúcares solúveis, aminoácidos, ácidos orgânicos, vitaminas, antocianinas, compostos fenólicos, carotenoides, flavonoides e aroma volátil (ZHANG; JIANG, 2019; CHEN *et al.*, 2020). A polpa do melão é composta por 91,3% de umidade com valor calórico de 29 Kcal, 0,7 g de proteína, 7,5 g de carboidratos, apenas traços de lipídios, 0,3 g de fibras, 0,5 g de cinzas, 3,0 mg de cálcio, 216 mg de potássio, 10 mg de fósforo, 11 mg de sódio e 6,0 mg de magnésio, em 100 g de polpa fresca (TACO, 2011).

O consumo de frutos e hortaliças tem levado à necessidade de técnicas pós-colheita que mantenham a qualidade sensorial e prolongue a vida útil dos produtos. Várias tecnologias pós-colheita foram desenvolvidas como o processamento mínimo, aplicáveis à maioria dos frutos por meio de operações como descascamento, corte, sanitização, centrifugação e acondicionamento, com o intuito de ofertar produtos frescos e convenientes para os consumidores (DAR *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2021).

O valor nutritivo, a conveniência e a segurança do alimento e menor desperdício doméstico são atributos que levaram à uma demanda crescente por esses produtos. Em função disso, as indústrias de produtos minimamente processados buscam inovar e diversificar seus produtos inclusive para oferecer ao consumidor diversas opções de frutos e hortaliças dentro de uma única embalagem, buscando cada vez mais ocupar espaço no mercado, justificado pelo estilo de vida dos consumidores por serem benéficos à saúde (ROLLE, 2010; OMS-OLIU *et al.*, 2010).

O processamento mínimo é uma alternativa para a oferta de produtos frescos, no entanto, as injúrias mecânicas causadas pelo processamento podem comprometer a segurança e a aparência dos produtos, determinada por múltiplas modificações fisiológicas e bioquímicas favorecendo a deterioração microbiológica, qualidade funcional e sensorial dos produtos. Portanto, os produtos minimamente processados são altamente perecíveis e têm uma vida útil

menor (4 a 10 dias) comparados aos frutos *in natura*, que apresenta uma vida útil de várias semanas a meses (SIROLI *et al.*, 2015; PIZATO *et al.*, 2019).

A vida útil refere-se ao intervalo de tempo no qual o produto pode ser armazenado a uma determinada temperatura de referência até que não seja aceito para consumo ou não atenda às exigências de qualidade pelos consumidores durante a comercialização e/ou o consumidor considerar impróprio para consumo. O limite de aceitação da qualidade de um produto depende do mercado consumidor, o qual pode ser fundamentado em propriedades físicas e/ou bioquímicas (HERTOG *et al.*, 2014; JEDERMANN *et al.*, 2014). Desta maneira, as pesquisas buscam métodos para estender a vida útil dos produtos minimamente processados como refrigeração (SILVA *et al.*, 2013), embalagens com atmosfera modificada (PUTNIK *et al.*, 2017), antioxidantes (GOYENECHÉ *et al.*, 2014) e revestimentos comestíveis (PANAHIRAD *et al.*, 2021).

O armazenamento refrigerado é um dos métodos físicos mais utilizados para minimizar e/ou retardar a deterioração de frutos e hortaliças e estender a vida útil dos produtos (USALL *et al.*, 2016). Os principais objetivos do armazenamento de produtos minimamente processados são controlar a taxa de transpiração, proteger contra doenças, evitar a perda de nutrientes e alterações desfavoráveis nos aspectos químicos e microbiológicos. Essas mudanças nos produtos afetam a estrutura e composição dos produtos, além de afetar economicamente este segmento da indústria alimentícia. Assim, estratégias pós-colheitas como a refrigeração são aplicadas para minimizar os danos mecânicos e/ou disfunções fisiológicas para manter a qualidade microbiológica e sensorial dos frutos minimamente processados (USALL *et al.*, 2016; ROCKETT *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2021).

2.3 Fisiologia dos vegetais minimamente processados

Os frutos e vegetais minimamente processados são preparados por uma série de operações como seleção, lavagem, descascamento, corte, desinfestação, drenagem e embalagem (DAR *et al.*, 2020). O objetivo dos produtos minimamente processados é proporcionar ao consumidor um produto semelhante ao *in natura*, seguro e com qualidade nutricional e sensorial adequadas. No entanto, o setor de frutos e hortaliças minimamente processados enfrenta perdas por serem altamente perecíveis devido às reações microbiológicas, bioquímicas e enzimáticas que ocorrem nos produtos, o que permite uma vida útil limitada (MA *et al.*, 2017; YOUSUF *et al.*, 2018; KHAN *et al.*, 2021).

Sob o ponto de vista fisiológico, operações de processamento lesionam o tecido vivo, em que inicia uma série de reações metabólicas que resultam em mudanças na textura, rápido

amadurecimento e senescência, desenvolvimento de odores desagradáveis, descoloração e outros eventos indesejáveis que tornam os produtos não comercializáveis, que reduzem a vida útil por favorecer uma maior produção de etileno, provocando mudanças na cor, e aumento da taxa de respiração porque os açúcares e ácidos são usados como substratos (ALZAMORA *et al.*, 2016).

O escurecimento enzimático afeta a qualidade dos frutos minimamente processados, onde o processo de corte libera o conteúdo das células, a compartimentação subcelular é interrompida, a taxa de respiração aumenta e o contato de substratos e enzimas inicia reações, causando escurecimento (MISHRA *et al.*, 2012). O escurecimento ocorre através da interação da polifenoloxidase com os fenóis, a partir da descompartimentação de substratos e enzimas oxidativas, com a exposição dos tecidos ao oxigênio. Os processos de injúria induzem a aumentos na atividade da enzima fenilalanina amônia liase (PAL), catalisando a biossíntese de fenilpropanóides (ROLLE; CHISM, 1987; ZAMBRANO-ZARAGOZA *et al.*, 2014).

O amaciamento é um importante processo fisiológico causado pela degradação de componentes da parede celular como a pectina e a celulose, sendo um dos principais fatores que determina a vida útil dos frutos minimamente processados. As principais enzimas que causam a degradação dos componentes da parede celular são a poligalacturonase (PG), a pectinametilesterase (PME), a β -galactosidase e a celulase (WANG *et al.*, 2018). A solubilização e a despolimerização dos polissacarídeos de parede alteram sua estrutura e a adesão célula a célula, levando ao amaciamento e a outros efeitos na qualidade dos frutos (GOULÃO; OLIVEIRA, 2008; LI *et al.*, 2010).

A cicatrização do corte refere-se à produção e à deposição de suberina e lignina nas paredes das células no local de ocorrência do dano mecânico, possivelmente seguidas por divisão celular sob a camada suberizada para formar a periderme de cicatrização. Acredita-se que essa parede celular entrecruzada por compostos fenólicos seja potencialmente usada para melhorar a estabilidade e a textura dos produtos vegetais processados (BURTON, 1982; DYER *et al.*, 1989; DIXON; PAIVA, 1995; WALDRON *et al.*, 1997).

Compreender os mecanismos que impulsionam a deterioração e sua dinâmica é importante para aplicar estratégias que preservem a qualidade dos produtos como os revestimentos comestíveis ajudam a conservar as propriedades fitoquímicas (antioxidantes, fenólicas, cor) e físico-químicas (taxa de respiração, perda de peso, sólidos solúveis totais e pH) por um período prolongado de tempo em frutos e hortaliças *in natura* e/ou minimamente processados (CHAUDHARY *et al.*, 2020).

2.4 Revestimento pós-colheita

O revestimento comestível é uma técnica utilizada na pós-colheita de frutos com o intuito de estender a vida útil e preservar as características sensoriais, aplicada diretamente na superfície do alimento gerando uma atmosfera modificada e barreira semipermeável para controlar o movimento do oxigênio, dióxido de carbono, umidade e soluto com o meio ambiente. Após a secagem da solução forma um filme fino, que executará a função desejada. O processo de secagem pode ser realizado por refrigeração ou temperatura ambiente (ZHAO, 2019; MD NOR; DING, 2020).

Os revestimentos comestíveis protegem os produtos contra distúrbios físicos, químicos, fisiológicos e biológicos, bem como melhora a aparência de produtos hortícolas dando brilho, suprimindo a deterioração (DHALL, 2013; NCAMA *et al.*, 2018; MD NOR; DING, 2020). Além disso, os revestimentos possuem propriedades antimicrobianas, antioxidantes para frutos e hortaliças, sendo, portanto, considerado como uma tecnologia promissora (YOUSUF *et al.*, 2018; ZHAO, 2019).

Para a formulação dos revestimentos comestíveis podem ser utilizados diferentes matérias-primas como as proteínas (caseína, zeína, glúten de trigo, gelatina e proteína de soja, feijão e amendoim). A gelatina tem sido usada por sua capacidade de formar filme por suas excelentes propriedades de barreira contra O₂, CO₂ e luz em produtos perecíveis, além de veicular compostos antioxidantes e antimicrobianos (RASID *et al.*, 2018; ARNON-RIPS; POVERENOV, 2018).

A gelatina é obtida por desnaturação térmica ou hidrólise parcial do colágeno, a partir de subprodutos de animais terrestres e marinhos, presentes na pele, ossos e tecido conjuntivo, classificada em tipo A com base no pré-tratamento ácido (ácido acético) e tipo B a partir da hidrólise parcial alcalina (hidróxido de sódio ou hidróxido de cálcio). A cor do pó da gelatina depende da fonte de extração. Fontes derivadas de bovinos e suínos possuem uma cor amarelada comparada com as gelatinas derivadas de peixe. A gelatina pode ser definida como uma mistura de cadeia α , β corrente e correntes desdobradas de forma simples e dupla (JONGJAREONRAK *et al.*, 2010; AYKIN-DINÇER *et al.*, 2017; TYUFTIN; KERRY, 2021).

A capacidade de formar filme, a biocompatibilidade, a não toxicidade, a biodegradabilidade, a boa transparência, por ser insípida e inodora, quebradiça e fácil de digerir, a gelatina torna-se ideal para aplicações alimentícias (LIU *et al.*, 2021). Na indústria de alimentos, diferentes fontes de gelatina foram usadas como revestimentos comestíveis biodegradáveis em alimentos como a gelatina de peixe (NUR HANANI *et al.*, 2019), a gelatina tipo A (FAKHOURI *et al.*, 2015). Em frutos e hortaliças, pesquisadores utilizaram a gelatina

para revestir pimentão vermelho (POVERENOV *et al.*, 2014), laranja (KHORRAM *et al.*, 2017), maçã (MANNUCCI, 2017) e uva (FAKHOURI *et al.*, 2015), por exemplo.

Recentemente, existe um interesse no desenvolvimento de embalagens de alimentos como transportadores de aditivos que exibem funções tecnológicas e/ou promoção da saúde. Entre os aditivos que podem ser adicionados às matrizes de revestimentos, incluem aqueles para melhorar ou modificar a funcionalidade e propriedades mecânicas do material, como plastificantes (glicerol, sorbitol, sacarose entre outros) e emulsificadores (como tweens e spans que visam estabilizar os revestimentos e melhorar sua adesão), e aqueles para melhorar a qualidade, estabilidade e segurança de alimentos revestidos, como agentes antimicrobianos, antioxidantes, prebióticos, nutracêuticos, de coloração e/ou sabores (SALGADO *et al.*, 2015; KHAN *et al.*, 2021; PAULO *et al.*, 2021).

Os prebióticos são compostos alimentares complexos não digeridos pelo metabolismo humano. Eles podem chegar ao intestino, onde microrganismos benéficos os fermentam seletivamente, favorecendo a modulação da microbiota, maior absorção de cálcio e magnésio, atividade anticancerígena, trânsito intestinal elevado, níveis séricos de colesterol e triglicerídeos mais baixos (CAETANO *et al.*, 2016; FABERSANI *et al.*, 2018).

Devido à crescente demanda por alimentos funcionais, o desenvolvimento de filmes e revestimentos com compostos prebióticos destinados a embalagens de alimentos simbióticos ativos ainda está emergindo, com um número limitado de estudos em frutos minimamente processados (ALVAREZ *et al.*, 2021). Nesse contexto, o uso de revestimentos comestíveis enriquecidos com compostos prebióticos, na perspectiva de ofertar produtos alimentícios com propriedades funcionais e com potencial antioxidante, surge como uma nova estratégia nas pesquisas pós-colheita.

2.5 Yacon e seu potencial prebiótico

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta herbácea perene, originária das regiões andinas da América do Sul, amplamente cultivada no Brasil, Japão e Estados Unidos, devido a sua adaptação a diferentes regiões, climas, altitudes e solo. Essa raiz possui textura crocante, sabor adocicado (parecido com a pera e melão), coloração amarela e é solúvel em água o que favorece a incorporação em diversos produtos alimentícios (GRAU; REA, 1997; OJANSIVUA *et al.*, 2011).

Os frutanos atuam como reserva, e são frequentemente encontrados em folhas, tubérculos e raízes. Estão envolvidos na resistência às condições de estresse e podem agir como osmoprotetores em condições de seca, dificultando a perda de água, sintetizados e armazenados

nos vacúolos, quando a produção de carbono excede a demanda, sendo mobilizados para produção de energia. Os frutanos são polímeros de frutose, solúveis em água, originados do metabolismo de sacarose (APOLINÁRIO *et al.*, 2014; VERMA *et al.*, 2021).

Há inúmeros oligossacarídeos reconhecidos como prebióticos como os frutooligossacarídeos (FOS), a inulina, galactooligossacarídeos (GOS), xilooligossacarídeos (XOS), maltooligossacarídeos (MOS), isomaltooligossacarídeos (IMO), oligossacarídeos de soja, (SOS), sucralose, lactulose, levanas, entre outros (AL-SHERAJI *et al.*, 2013, VANDENPLAS *et al.*, 2015; HUTKINS, *et al.*, 2016). Os FOS são encontrados em plantas como alcachofra, chicória, alho, cebola, banana, tomate, alho, aspargo e yacon, e produzidos por microrganismos como *Aspergillus* e *Penicillium* (SINGH *et al.*, 2017; SALINAS *et al.*, 2018; SINGH *et al.*, 2020). O yacon possui grande quantidade de frutooligossacarídeos (FOS) e compostos fenólicos como ácido clorogênico (CAETANO *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2018).

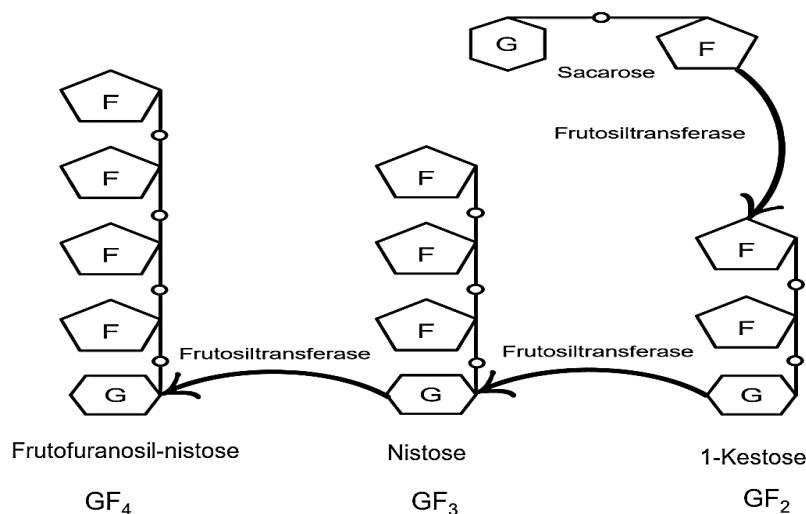
A formação das cadeias dos frutooligossacarídeos envolvem duas enzimas: a frutossiltransferase (SST) e a frutano frutossiltransferase (FFT). A enzima SST responsável pela formação do FOS de cadeia mais simples, denominado 1-kestose (ou 1-Kestose), catalisa a união de duas moléculas de sacarose, produzindo um trissacarídeo e uma molécula de glicose. A FFT transfere terminais frutossil de outros frutanos para a molécula de 1-kestose (**Figura 2**) (SINGH *et al.*, 2016; SINGH *et al.*, 2020).

Os FOS são um tipo de carboidrato não digerível pelo trato gastrointestinal humano, que estimula o desenvolvimento de microrganismos benéficos (probióticos) no intestino como bifidobactérias e lactobacilos, portanto, considerado como um prebiótico, que são ingredientes fermentados seletivamente que promovem alterações específicas na composição e/ou na atividade da microbiota gastrointestinal capazes de conferir benefícios à saúde do indivíduo. Os probióticos são definidos como microrganismos vivos que, quando ingeridos em quantidades adequadas, exercem efeitos benéficos ao organismo. Os gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* são os mais utilizados na elaboração de probióticos, indicados por prevenir diversas alterações no organismo como inflamações, desordens alérgicas etc. (GIBSON *et al.*, 2017; LORDAN *et al.*, 2020).

Os FOS quando fermentados produzem ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), como acetato, propionato e butirato. Os AGCC auxiliam o crescimento de *Bifidobactérias* spp. e *Lactobacillus* spp., que são microrganismos probióticos que compõe a microbiota, e favorecem a diminuição de bactérias patogênicas como o *Clostridium* spp. e a *Escherichia coli*. Esses AGCC são absorvidos no cólon e transportados para a corrente sanguínea, onde irão exercer

funções fisiológicas como substratos ou de sinalização de moléculas (ROBERFROID *et al.*, 2010; VUYST; LEROY, 2011; SHOAIB *et al.*, 2016).

Figura 2 – Produção de frutooligossacarídeos de sacarose por frutossiltransferase.



Fonte: SINGH *et al.*, 2016.

Os benefícios dos FOS à saúde humana incluem a ativação do sistema imunológico, redução dos níveis plasmáticos de colesterol, fosfolipídios e triglicérides; melhoram a síntese de vitaminas do complexo B e promovem maior absorção de cálcio e magnésio no trato gastrointestinal, proporcionam alívio da constipação intestinal e podem inibir o desenvolvimento de tumores e doenças inflamatórias do intestino (DOMINGUEZ *et al.*, 2012; SLAVIN, 2013). Além disso, os FOS não são carcinogênicos, e funcionam como excelentes adoçantes de baixa caloria e seu uso é considerado seguro para pessoas diabéticas (MABEL *et al.*, 2008; CAMPOS *et al.*, 2012).

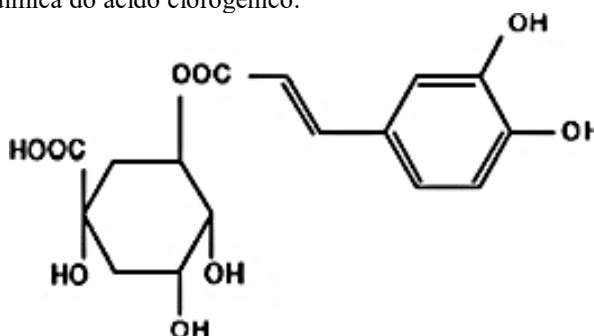
Os prebióticos agregam valor e melhoram as características nutricionais e sensoriais (HURTADO-ROMERO *et al.*, 2020). Por apresentar propriedades tecnológicas interessantes, costumam ser incorporados a diversos produtos da indústria alimentícia, como produtos de panificação (LONGORIA-GARCÍA *et al.*, 2018), laticínios (BALTHAZAR *et al.*, 2017) bebidas (GONZALEZ *et al.*, 2011) e iogurte simbiótico funcional (KARIYAWASAM *et al.*, 2021).

As principais classes dos compostos fenólicos consistem em ácidos fenólicos, flavonóides, estilbenos, ligninas, curcuminóides, taninos, cumarinas, ligninas, quininos (ALAM, 2021). O ácido clorogênico são um conjunto de 5 grupos principais de compostos fenólicos e seus isômeros, derivados principalmente, pela esterificação dos ácidos transcinâmicos (os ácidos cafeico, ferúlico e p-cumárico) com o ácido quínico. Estes grupos

são ácidos cafeoilquínicos, os ácidos dicafeoilquínicos e os ácidos feruloilquínicos (PARRAS *et al.*, 2007). O ácido clorogênico é um dos polifenóis mais conhecidos, largamente distribuído na natureza, encontrados em alimentos de origem vegetal (SANTANA-GÁLVEZ *et al.*, 2017; NAVEED *et al.*, 2018).

O ácido clorogênico foi indentificado em 1846 por Payen para designar um composto fenólico com função ácida, estrutura desconhecida e de coloração verde. Foi isolado pela primeira vez em 1907 na forma de complexo cristalino, sendo, então, denominado de clorogenato de cafeína, tendo sua estrutura química posteriormente estabelecida por Fisher como ácido 3-cafeoilquínico, hoje conhecido como ácido 5-cafeoilquínico (**Figura 3**) (CLIFFORD, 2000; MARIA; MOREIRA, 2004; NAVEED *et al.*, 2018).

Figura 3 – Estrutura química do ácido clorogênico.



Fonte: NAVEED *et al.*, 2018.

Diferentes sugestões descrevem a rota biossintética do ácido clorogênico, em que os metabólitos secundários fazem parte da via dos fenilpropanoides (VALIÑAS *et al.*, 2015). As principais enzimas de formação do ácido 5-cafeoilquínico são a hidroxicinamoil-CoA quinato hidroxicinamoil transferase (HQT) e a hidroxicinamoil-CoA chimquimato/quinato hidroxicinamoil transferase (HCT) (PAYYAVULA *et al.*, 2015).

A primeira rota de biossíntese consiste na esterificação do ácido quínico com p-cumaroil-CoA, acompanhada da hidroxilação do ácido p-cumaroilquínico para formar o ácido clorogênico. A segunda, possui quatro etapas: esterificação do ácido quínico com p-cumaroil-CoA; hidroxilação do p-cumaroilchiquimato para formar o ácido cafeoilquínico; desesterificação para produzir cafeoil-CoA, em que é reesterificada ao ácido quínico para formar o ácido clorogênico. A terceira rota, a cafeoilCoA é sintetizada a partir do ácido p-cumárico via ácido cafeico, gerando ácido clorogênico após esterificação com o ácido quínico (SCHOCH *et al.*, 2001; NIGGEWEG *et al.*, 2004; MATSUDA *et al.*, 2005).

Além das atividades biológicas que desempenham nas plantas, os ácidos clorogênicos possuem grande importância econômica: são compostos presentes em diversos vegetais, e

podem ser responsáveis por características sensoriais relevantes em determinados alimentos, como, por exemplo, o amargor característico do café (CAMPA *et al.*, 2005).

O ácido clorogênico tem recebido um interesse considerável devido as suas notáveis propriedades antioxidantes, antimicrobianas, anti-inflamatórias, antidiabéticas, redutoras da pressão arterial, neuroprotetoras e cardioprotetoras (NAVEED *et al.*, 2018). Estudos indicaram que ácido clorogênico tem efeitos contra *Stenotrophomonas maltophilia* (KARUNANIDHI *et al.*, 2012), *Klebsiella pneumoniae* (BAJKO *et al.*, 2016), *Helicobacter pylori* (FARZAEI *et al.*, 2015), *Escherichia coli* (AYSELI; AYSELI, 2016), *Staphylococcus epidermidis* (FU *et al.*, 2016) e *Staphylococcus aureus* (SOUSA *et al.*, 2014).

Em virtude de suas propriedades, o yacon vem sendo aplicado em diferentes produtos como bebida (DIONÍSIO *et al.*, 2015; DIONÍSIO *et al.*, 2018), farinha (GRANCIERI *et al.*, 2017; SIMANCA-SOTELO *et al.*, 2021) e xarope (SILVA *et al.*, 2018; DIONÍSIO *et al.*, 2020). Ao avaliar os efeitos do consumo de farinha de yacon em parâmetros intestinais em ratos com câncer de cólon induzido, GRANCIERI *et al.* (2017) afirmam que o consumo da farinha promoveu efeitos benéficos na saúde intestinal, atenuando as alterações promovidas pelo câncer, o que resultou em redução da permeabilidade intestinal, aumento dos níveis de AGCC.

O xarope de yacon pode ser considerado como um produto nutracêutico devido à presença de diversos compostos e ao seu conteúdo de FOS, consumido como um alimento único ou como ingrediente funcional, a exemplo do iogurte suplementado com xarope de yacon que mostrou-se boa aceitação sensorial, intenção positiva de compra, e efeito positivo sobre o apetite. Os autores sugerem que a ingestão de FOS pode ajudar a aumentar a saciedade e, conseqüentemente, prevenir a diabetes tipo 2 e/ou controlar o sobrepeso ou obesidade (SILVA *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018).

REFERÊNCIAS

- ALAM, A. MD.; MUHAMMAD, G.; KHAN, M. N.; MOFIJURM, M.; LV., Y.; XIONG, W.; XU, J. Choline chloride-based deep eutectic solvents as green extractants for the isolation of phenolic compounds from biomass. **Journal of Cleaner Production**, v. 309, 127445, 2021.
- AL-SHERAJI, S. H.; ISMAIL, A.; MANAP, M. Y.; MUSTAFA, S.; YUSOF, R. M.; HASSAN, F. A. Prebiotics as functional foods: A review. **Journal of Functional Foods**, v. 5, p. 1542 – 1553, 2013.
- ALVAREZ, M. V.; BAMBACE, M. F.; QUINTANA, G.; GOMEZ-ZAVAGLIA, A.; MOREIRA, M. del R. Prebiotic-alginate edible coating on fresh-cut apple as a new carrier for probiotic lactobacilli and bifidobacteria. **LWT - Food Science and Technology**, v. 137, 110483, 2021.
- ALZAMORA, S. M.; LÓPEZ-MALO, A.; TAPIA, M. S.; WELTI-CHANES, J. Minimally Processed Foods. **Encyclopedia of Food and Health**, pág. 767-771, 2016.
- ANDRADE, I. S.; MELO, C. A. F. de; NUNES, G. H. de S.; HOLANDA, I. S. A.; GRANGEIRO, L. C.; CORRÊA, R. X. Morphoagronomic genetic diversity of Brazilian melon accessions based on fruit traits. **Scientia Horticulturae**, v. 243, p. 514-523, 2019.
- APOLINÁRIO, A. C.; DAMASCENO, B. P. G. de L.; BELTRÃO, N. E. de M.; PESSOA, A.; CONVERTI, A.; SILVA, J. A. da. Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 368–378, 2014.
- ARAGÃO, F. A. S. **Divergência genética de acessos e interação genótipo x ambiente de famílias de meloeiro**. 137 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.
- ARNON-RIPS, H.; POVERENOV, E. Improving food products' quality and storability by using Layer by Layer edible coatings. **Trends in Food Science & Technology**, v. 75, p. 81–92, 2018.
- AYKIN-DINÇER, E.; KOÇ, A.; ERBAS, M. Extraction and physicochemical characterization of broiler (*Gallus gallus domesticus*) skin gelatin compared to commercial bovine gelatin. **Poultry Science**, v. 96, p. 4124-4131, 2017.
- AYSELI, M. T.; AYSELI, Y. I. Flavors of the future: Health benefits of flavor precursors and volatile compounds in plant foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 69-77, 2016.
- BAJKO, E.; KALINOWSKA, M.; BOROWSKI, P.; SIERGIEJCZYK, L.; LEWANDOWSKI, W. 5-O-Caffeoylquinic acid: A spectroscopic study and biological screening for antimicrobial activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 471-479, 2016.
- BALTHAZAR, C. F.; SILVA, H. L. A.; VIEIRA, A. H.; NETO, R. P. C.; CAPPATO, L. P.; COIMBRA, P. T.; MORAES, J.; ANDRADE, M. M.; CALADO, V. M. A.; GRANATO, D.;

FREITAS, M. Q.; TAVARES, M. I. B.; RAICES, R. S. L.; SILVA, M. C.; CRUZ, A. G. Assessing the effects of different prebiotic dietary oligosaccharides in sheep milk ice cream. **Food Research International**, v. 91, p. 38–46, 2017.

BEAULIEU, J. Within-season volatile and quality differences in stored fresh-cut cantaloupe cultivars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 8679–8687, 2005.

BURTON, W. G. **Postharvest physiology of food crops**. London: Longman, 1982. 289 p.

CAETANO, B. F. R.; MOURA, N. A. de; ALMEIDA, A. P. S.; DIAS, M. C.; SIVIERI, K.; Barbisan, L. F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a food supplement: Health-promoting benefits of fructooligosaccharides. **Nutrients**, v. 8, n. 7, p. 436, 2016.

CAMPA, C.; DOULBEAU, S.; DUSSERT, S.; HAMON, S.; NOIROT, M. Qualitative relationship between caffeine and chlorogenic acid contents among wild *Coffea* species. **Food Chemistry**, v. 93, n. 1, p. 135–139, 2005.

CAMPOS, D.; BETALLELUZ-PALLARDEL, I.; CHIRINOS, R.; AGUILAR-GALVEZ, A.; NORATTO, G.; PEDRESCHI, R. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 135, p.1592–1599, 2012.

CHAUDHARY, S.; KUMAR, S.; KUMAR, V.; SHARMA, R. Chitosan nanoemulsions as advanced edible coatings for fruits and vegetables: **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 152, p.154–170, 2020.

CHEN, T.; JI, D.; ZHANG, Z.; LI, B.; QIN, G.; TIAN, S. Advances and strategies for controlling the quality and safety of postharvest fruit. **Engineering**, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.02>, 2020.

CLIFFORD, M. N. Chlorogenic acids and other cinnamates – nature, occurrence, dietary burden, absorption and metabolism. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, p. 1033–1042, 2000.

COSTA, N. D. (Ed). Autores: SALVIANO, A. M. et al. **A cultura do melão**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 3. ed. rev. e atual, 202 p. il., 2017.

DAR, A. H.; BASHIR, O.; KHAN, S.; WAHID, A.; MAKROO, H. A. Fresh-cut products: Processing operations and equipments. **Fresh-Cut Fruits and Vegetables**, cap. 4, p. 77-97, ed.: Academic Press, ISBN 9780128161845, 2020.

DHALL, R.K. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, n. 5, p. 435–450, 2013.

DIONÍSIO, A. P.; CARVALHO-SILVA, L. B. de, VIEIRA, N. M.; GOES, T. de S.; WURLITZER, N. J.; BORGES, M. de F.; BRITO, E. S. de; IONTA, M.; FIGUEIREDO, R. W. de. Cashew-apple (*Anacardium occidentale* L.) and yacon (*Smallanthus sonchifolius*) functional beverage improve the diabetic state in rats. **Food Research International**, v. 77, p. 171–176, 2015.

DIONÍSIO, A. P.; SILVA, M. de F. G. da; CARIOCA, A. A. F.; ADRIANO, L. S.; ABREU, F. A. P. de; WURLITZER, N. J.; PINTO, C. de O.; PONTES, D. F. Effect of yacon syrup on blood lipid, glucose and metabolic endotoxemia in healthy subjects: a randomized, double-blind, placebo-controlled pilot trial. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p.:194-201, 2020.

DIONÍSIO, A. P.; WURLITZER, N. J.; PINTO, C. O.; GOES, T. de S.; BORGES, M. de F.; ARAÚJO, I. M. da S. Processamento e estabilidade de uma bebida de caju e yacon durante o armazenamento sob refrigeração. **Brazilian Journal of Food Technology**, versão online, v. 21, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.18916>.

DIXON, R. A.; PAIVA, N. L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. **The Plant Cell**, n. 7, p. 1085-1097, 1995.

DOMINGUEZ, A.; NOBRE, C.; RODRIGUES, L. R.; PERES, A. M.; TORRES, D.; ROCHA, I.; LIMA, N.; TEIXEIRA, J. New improved method for fructooligosaccharides production by *Aureobasidium pullulans*. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, p. 1174–1179, 2012.

DYER, W. E.; HENSTRAND, J. M.; HANDA, A. K.; HERRMANN, K. M. Wound induces the first enzyme of the shikimate pathway in Solanaceae. **Proceedings of the National Academy of Sciences, USA**, v. 84, p. 5202-5206, 1989.

FABERSANI, E.; GRANDE, M. V.; ARÁOZ, M. V. C.; ZANNIER, M. L.; SÁNCHEZ, S. S.; GRAU, A.; OLISZEWSKIA, R.; HONORÉ, S. M. Metabolic effects of goat milk yogurt supplemented with yacon flour in rats on high-fat diet. **Journal of Functional Foods**, v. 49, p. 447–457, 2018.

FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; MEI, L. H. I. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 57–64, 2015.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT: statistics database**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 04 jul. 2021.

FARZAEI, M. H.; ABDOLLAHI, M.; RAHIMI, R. Role of dietary polyphenols in the management of peptic ulcer. **World Journal of Gastroenterol**, v. 21, n. 21, p. 6499-6517, 2015.

FLORES, F.; ELYAHYAOU, F.; BILLERBECK, G. de; ROMOJARO, F.; LATCHÉ, A.; BOUZAYEN, M.; PECH, J.C.; AMBID, C. Role of ethylene in the biosynthetic pathway of aliphatic ester aroma volatiles in Charentais Cantaloupe melons. **Journal of experimental botany**, v. 53, n. 367, p. 201–206, 2002.

FU, L.; LU, W. Q.; ZHOU, X. M. Phenolic Compounds and In Vitro Antibacterial and Antioxidant Activities of Three Tropic Fruits: Persimmon, Guava, and Sweetsop. **BioMed Research International**, p. 1-9, 4287461, 2016.

GIBSON, G. R.; HUTKINS, R.; SANDERS, M. E.; PRESCOTT, S. L.; REIMER, R. A.; SALMINEN, S. J.; SCOTT, K.; STANTON, C.; SWANSON, K. S.; CANI, P. D.; VERBEKE, K.; REID, G. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Gastroenterology & Hepatology**, v. 14, p. 491- 502, 2017.

GÓMEZ-GARCÍA, R.; CAMPOS, D. A.; AGUILAR, C. N.; MADUREIRA, A. R.; PINTADO, M. Valorization of melon fruit (*Cucumis melo* L.) by-products: Phytochemical and Biofunctional properties with Emphasis on Recent Trends and Advances. **Trends in Food Science & Technology**, v. 99, p. 507–519, 2020.

GONZALEZ, N. J.; ADHIKARI, K.; SANCHO-MADRIZ, M. F. Sensory characteristics of peach-flavored yogurt drinks containing prebiotics and synbiotics. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 158-163, 2011.

GOULÃO, L. F., OLIVEIRA, C. M. Cell wall modifications during fruit ripening: when a fruit is not the fruit. **Trends in Food Science & Technology**, v.19, p. 4–25, 2008.

GOYENECHÉ, R.; AGÜERO, M. V.; ROURA, S.; DI SCALA, K. Application of citric acid and mild heat shock to minimally processed sliced radish: Color evaluation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 93, p. 106–113, 2014.

GRANCIERI, M.; COSTA, N. M. B.; TOSTES, M. das G. V.; OLIVEIRA, D. S. de; NUNES, L. de C.; MARCON, L. de N.; VERIDIANO, T. A.; VIANA, M. L. Yacon flour (*Smallanthus sonchifolius*) attenuates intestinal morbidity in rats with colon cancer. **Journal of Functional Foods**, v. 37, p. 666–675, 2017.

GRAU, A.; REA, J. Yacon. *Smallanthus Sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. **In: Andean Roots and Tuberous Roots: Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon. Promoting the Conservation and Use of Underutilized Crops.** Hermann, M.; Heller, J. (Eds). International Plant Genetic Resource Institute, Rome, Italy, p.: 199–256, 1997.

HASSAN, B.; CHATHA, S. A. S.; HUSSAIN, A. I.; ZIA, K. M.; AKHTAR, N. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, 2018.

HASSAN, F. A. S.; ALI, E. F.; MOSTAFA, N. Y.; MAZROU, R. Shelf-life extension of sweet basil leaves by edible coating with thyme volatile oil encapsulated chitosan nanoparticles. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 177, p. 517–525, 2021.

HERTOG, M. A. L. T. M.; UYSAL, I.; MCCARTHY, I.; VERLINDEN, B. M.; NICOLATI, B. M. Shelf life modelling for first-expired-first-out warehouse management. **Philosophical Transactions of the royal society A**, v. 372, n. 2017, 20130306, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2013.0306>.

HURTADO-ROMERO, A.; TORO-BARBOSA, M. Del; GARCIA-AMEZQUITA, L. E.; GARCÍA-CAYUELA, T. Innovative technologies for the production of food ingredients with prebiotic potential: Modifications, applications, and validation methods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 104, p. 117–131, 2020.

HUTKINS, R. W.; KRUMBECK, J. A.; BINDELS, L. B.; CANI, P. D.; FAHEY Jr., G.; GOH, Y. J.; HAMAKER, B.; MARTENS, E.C.; MILLS, D. A.; RASTAL, R. A.; VAUGHAN, E.; SANDERS, M. E. Prebiotics: why definitions matter. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 37, p. 1–7, 2016.

JEDERMANN, R.; NICOMETO, M.; UYSAL, I.; LANG, W. Reducing food losses by intelligent food logistics. **Philosophical Transactions A**, v. 372, n. 2017, p. 20130302, 2014.

JONGJAREONRAK, A.; RAWDKUEN, S.; CHAIJAN, M.; BENJAKUL, S.; OSAKO, K.; TANAKA, M. Chemical compositions and characterisation of skin gelatin from farmed giant catfish (*Pangasianodon gigas*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, p. 161- 165, 2010.

KARIYAWASAM, K. M. G. M. M.; LEE, N. K.; PAIK, H. D. Synbiotic yoghurt supplemented with novel probiotic *Lactobacillus brevis* KU200019 and fructooligosaccharides. **Food Bioscience**, v. 39, 100835, 2021.

KARUNANIDHI, A.; RENJAN THOMAS, R.; BELKUM, A. V.; NEELA, V. In Vitro Antibacterial and Antibiofilm Activities of Chlorogenic Acid against Clinical Isolates of *Stenotrophomonas maltophilia* including the Trimethoprim/Sulfamethoxazole Resistant Strain. **BioMed Research International**, p. 1-7, 392058, 2012.

KHAN, M. R.; DI GIUSEPPE, F. A.; TORRIERI E.; SADIQ, M. B. Recent advances in biopolymeric antioxidant films and coatings for preservation of nutritional quality of minimally processed fruits and vegetables. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 30, 100752, 2021.

KHORRAM, F.; RAMEZANIAN, A.; HOSSEINI, S. M. H. Shellac, gelatin and Persian gum as alternative coating for orange fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 225, p. 22–28, 2017.

KIST, B. B.; CARVALHO, C.de; BELING; R. R. **Anuário brasileiro de Horti&Fruti 2021**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2021.

LELIÈVRE, J. M.; LATCHÈ, A.; JONES, B.; BOUZAYEN, M.; PECH, J. C. Ethylene and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, v. 101, p. 727–739, 1997.

LI, X.; XU, C.; KORBAN, S.; CHEN, K. Regulatory mechanisms of textural changes in ripening fruits. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 29, p. 222–243, 2010.

LIU, J.; ZHENG, L.; LIU, C.; ZHENG, X.; TANG, K. Tuning structure and properties of gelatin edible films through pullulan dialdehyde crosslinking. **LWT – Food Science and Technology**, v. 138, 110607, 2021.

LONGORIA-GARCÍA, S.; CRUZ-HERNÁNDEZ, M. A.; FLORES-VERÁSTEGUI, M. I. M.; CONTRERAS-ESQUIVEL, J. C.; MONTAÑEZ-SÁENZ, J. C.; BELMARES-CERDA, R. E. Potential functional bakery products as delivery systems for prebiotics and probiotics health enhancers. **Journal of Food Science and Technology**, v.55, n. 3, p. 833–845, 2018.

LORDAN, C.; THAPA, D.; ROSS, R.P.; COTTER, P. D. Potential for enriching next-generation health-promoting gut bacteria through prebiotics and other dietary components. **Gut microbes**, v.11, n.1, p.1-20, 2020.

MA, L.; ZHANG, M.; BHANDARI, B.; GAO, Z. Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 64, p. 23-38, 2017.

MABEL, M. J.; SANGEETHA, P. T.; PLATEL, K.; SRINIVASAN, K.; PRAPULLA, S. G. Physicochemical characterization of fructooligosaccharides and evaluation of their suitability as a potential sweetener for diabetics. **Carbohydrate Research**, v. 343, p. 56–66, 2008.

MANNUCCI, A.; SERRA, A.; REMORINI, D.; CASTAGNA, A.; MELE, M.; SCARTAZZA, A.; RANIERI, A. Aroma profile of Fuji apples treated with gelatin edible coating during their storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 85, p. 28-36, 2017.

MANTILLA, N.; CASTELL-PEREZ, M. E.; GOMES, C.; MOREIRA, R. G. Multilayered antimicrobial edible coating and its effect on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 51, p. 37-43, 2013.

MARIA, C. A. B. De; MOREIRA, R. F. A. Métodos para análise de ácido clorogênico. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 586-592, 2004.

MARINGGAL, B.; HASHIM, N.; TAWAKKAL, I. S. M. A.; MOHAMED, M. T. M. Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 96, p. 253–267, 2020.

MATSUDA, F.; MORINO, K.; ANO, R.; KUZAWA, M.; WAKASA, K.; MIYAGAWA, H. Metabolic flux analysis of the phenylpropanoid pathway in elicitor-treated potato tuber tissue. **Plant Cell Physiology**, v. 46, p. 454–466, 2005.

MD NOR, S.; DING, P. Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review. **Food Research International**, v. 134, 109208, 2020.

MISHRA, B. B.; GAUTAM, S.; SHARMA, A. Browning of fresh-cut eggplant: Impact of cutting and storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 67, p. 44–51, 2012.

NAVEED, M.; HEJAZI, V.; ABBAS, M.; KAMBOH, A. A.; KHAN, G. J.; SHUMZAID, M.; AHMAD, F.; BABAZADEH, D.; FANGFANG, X.; MODARRESI-GHAZANI, F.; WENHUA, L.; XIAOHUI, Z. Chlorogenic acid (CGA): A pharmacological review and call for further research. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 97, p. 67–74, 2018.

NCAMA, K.; MAGWAZA, L. S.; MDITSHWA, A.; TESFAY, S. Z. Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 157–167, 2018.

NIGGEWEG, R.; MICHAEL, A. J.; MARTIN, C. Engineering plants with increased levels of the antioxidant chlorogenic acid. **Nature Biotechnology**, v. 22, p. 746–754, 2004.

NUR HANANI, Z. A.; YEE, F. C.; NOR-KHAIZURA, M. A. R. Effect of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel powder on the antioxidant and antimicrobial properties of fish gelatin films as active packaging. **Food Hydrocolloids**, v.89, p. 253–259, 2019.

OJANSIVUA, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINENA, S. Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, p. 40-46, 2011.

OMS-OLIU, G.; ROJAS-GRAÜ, M. A.; GONZÁLEZ, L. A.; VARELA, P.; SOLIVA-FORTUNY, R.; HERNANDO, M. I. H.; MUNUERA, I. P.; FISZMAN, S.; MARTÍN-BELLOSO, O. Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. **Postharvest Biology and Technology**, v. 57, p. 139–148, 2010.

PANAHIRAD, S.; DADPOUR, M.; PEIGHAMBARDoust, S. H.; SOLTANZADEH, M.; GULLÓN, B.; ALIREZALU, K.; LORENZO, J. M. Applications of carboxymethyl cellulose- and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 663–673, 2021.

PARIS, H. S.; AMAR, Z.; LEV, E. Medieval emergence of sweet melons, *Cucumis melo* (Cucurbitaceae). **Annals of Botany**, v. 110, n. 1, p. 23–33, 2012.

PARIS, H. S.; TADMOR, Y.; SCHAFFER, A. A. **Cucurbitaceae Melons, Squash, Cucumber Encyclopedia of Applied Plant Sciences**. Ed.: Academic Press. v. 3, p. 209–217, ISBN 9780123948083, 2017.

PARRAS, P.; MARTÍNEZ-TOMÉ, M.; JIMÉNEZ, A. M.; MURCIA, M. A. Antioxidant capacity of coffees of several origins brewed following three different procedures. **Food Chemistry**, v. 102, p. 582–592, 2007.

PAULO, A. F. S.; BAÚ, T. R.; IDA, E. I.; SHIRAI, M. A. Edible coatings and films with incorporation of prebiotics —A review. **Food Research International**, v. 148, 110629, 2021.

PAYYAVULA, R. S. et al. Synthesis and regulation of chlorogenic acid in potato: Rerouting phenylpropanoid flux in HQT-silenced lines. **Plant Biotechnology Journal**, v. 13, n. 4, p. 551–564, 2015.

PITRAT, M. Melon. **In**: PROHENS J.; NUEZ F. (eds.) Handbook of plant breeding. Vegetables I. Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae. Springer, USA, p. 283–315. 2008.

PITRAT, M. Phenotypic diversity in wild and cultivated melons (*Cucumis melo*). **Plant Biotechnology**, v. 30, p. 273-278, 2013.

PITRAT, M.; HANELT, P.; HAMMER, K. Some comments on infra-specific classification of cultivars of melon. **In**: N. Katzir and H.S. Paris (eds.). Proc. Cucurbitaceae. Acta Horticulturae, Wageningen, 510:29–36, 2000.

PIZATO, S.; CHEVALIER, R. C.; SANTOS, M. F. DOS; COSTA, T. S. DA; ARÉVALO PINEDO, R.; CORTEZ VEGA, W. R. Avaliação da extensão da vida de prateleira do abacaxi

minimamente processado (*Smooth cayenne*) por aplicação de diferentes revestimentos comestíveis, **British Food Journal**, v.121, n. 7, p. 1592-1604, 2019.

POVERENOV, E.; ZAITSEVA, Y.; ARNONA, H.; GRANIT, R.; ALKALAI-TUVIAA, S.; PERZELANA, Y.; WEINBERGA, T.; FALLIK, E. Effects of a composite chitosan–gelatin edible coating on postharvest quality and storability of red bell peppers. **Postharvest Biology and Technology**, v. 96, p. 106–109, 2014.

PUTNIK, P.; KOVACEVIC, D. B.; HERCEG, K.; ROOHINEJAD, S.; GREINER, R.; BEKHIT, A. E. D. A.; LEVAJ, B. Modelling the shelf-life of minimally-processed fresh-cut apples packaged in a modified atmosphere using food quality parameters. **Food Control**, v. 81, p. 55–64, 2017.

RASHID, U.; REHMAN, H. A., HUSSAIN, I.; IBRAHIM, M.; HAIDER, M. S. Muskmelon (*Cucumis melo*) seed oil: A potential non-food oil source for biodiesel production. **Energy**, v. 36, p. 5632–5639, 2011.

RASID, N. A. M.; NAZMI, N. N. M.; ISA, M. I. N.; SARBON, N. M. Rheological, functional and antioxidant properties of films forming solution and active gelatin films incorporated with *Centella asiatica* (L.) urban extract. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 18, p. 115–124, 2018.

REINA, L. D.; PÉREZ-DÍAZ, I. M.; BREIDT, F.; AZCARATE-PERIL, M. A.; MEDINA, E.; BUTZ, N. Characterization of the microbial diversity in yacon spontaneous fermentation at 20 °C. **International Journal of Food Microbiology**, v. 203, p. 35–40, 2015.

ROBERFROID, M.; GIBSON, G.; HOYLES, L.; MCCARTNEY, A.; RASTALL, R.; ROWLAND, I.; WOLVERS, D.; WATZL, B.; SZAJEWSKA, H.; STAHL, B.; GUARNER, F.; RESPONDEK, F.; WHELAN, K.; COXAM, V.; DAVICCO, M. J.; LÉOTOING, L.; WITTRANT, Y.; DELZENNE, N. M.; CANI, P. D.; NEYRINCK, A. M. ; MEHEUST, A. Prebiotic effects: Metabolic and health benefits. **British Journal of Nutrition**, v.104, p. S1-S63, 2010.

ROCKETT, F.; SCHMIDT, H.; RODRIGUES, E.; FLÔRES, S.; RIOS, A. Application of refrigeration and packing can extend Butiá fruit shelf life. **Food Bioscience**, v. 42, 101162, 2021.

ROLLE, R. S. (Ed.). Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: a technical guide. **Bangkok**: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. 86 p. (RAP publication 2010/16). Aatoria: Jennylynd B. James, Tipvanna Ngarmsak.

ROLLE, R. S.; CHISM, G. W. Physiological consequences of minimally processed fruits and vegetables. **Journal of Food Quality**, v. 10, p. 157-177, 1987.

SALGADO, P. R.; ORTIZ, C. M.; MUSSO, Y. S.; DI GIORGIO, L.; MAURI, A. N. Edible films and coatings containing bioactives. **Current Opinion in Food Science**, v.5, p.86–92, 2015.

SALINAS, J. D.; ALVARADO, J. A.; BERGENSTÅHL, B.; TORNBERG, E. The influence of convection drying on the physicochemical properties of yacón (*Smallanthus sonchifolius*). **Heat Mass Transfer**, v. 54, p. 2951–2961, 2018.

SANTANA-GÁLVEZ, J.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; JACOBO-VELÁZQUEZ, D.A. Chlorogenic Acid: Recent Advances on Its Dual Role as a Food Additive and a Nutraceutical against Metabolic Syndrome. **Molecules**, v. 22, n.3, 358, 2017.

SCHOCH, G.; GOEPFERT, S.; MORANT, M.; HEHN, A.; MEYER, D.; ULLMANN, P.; WERCK-REICHHART D. CYP98A3 from *Arabidopsis thaliana* Is a 3'-Hydroxylase of Phenolic Esters, a Missing Link in the Phenylpropanoid Pathway. **The journal of biological chemistry**, v. 276, n. 39, p. 36566–36574, 2001.

SHOAIB, M.; SHEHZAD, A.; OMAR, M.; RAKHA, A.; RAZA, H.; SHARIF, H. R.; SHAKEEL, A.; ANSARI, A.; NIAZI, S. Inulin: Properties, health benefits and food applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 147, p. 444–454, 2016.

SILVA, A. V. C.; MUNIZ, E. N.; YAGUIU, P.; LEDO, A. S. Armazenamento de manga “Tommy atkins” minimamente processada. **Scientia Plena**, v. 9, n.4, 2013.

SILVA, M. de F. G. da; DIONÍSIO, A. P.; ABREU, F. A. PINTO de; BRITO, E. S. de; WURLITZER, N. J.; SILVA, L. M. A. e; RIBEIRO, P. R. V.; RODRIGUES, S.; TANIGUCHI, C. A. K.; PONTES D. F. Evaluation of nutritional and chemical composition of yacón syrup using ¹H NMR and UPLC-ESI-Q-TOF-MS^E. **Food Chemistry**, v. 245, p. 1239–1247, 2018.

SILVA, M. de F. G. da; DIONÍSIO, A. P.; CARIOCA, A. A. F.; ADRIANO, L. S.; PINTO, C. O.; ABREU, F. A. PINTO de; WURLITZER, N. J.; ARAÚJO, I. M.; GARRUTI, D. dos S.; PONTES, D. F. Yacón syrup: Food applications and impact on satiety in healthy volunteers. **Food Research International**, v. 100, p. 460–467, 2017.

SILVA, M. F.; ALBUQUERQUE, T. G.; ALVES, R. C.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; COSTA, H. S. Melon (*Cucumis melo* L.) by-products: Potential food ingredients for novel functional foods? **Trends in Food Science & Technology**, v. 98, p. 181–189, 2020.

SIMANCA-SOTELO, M.; PAULA, C. DE; DOMÍNGUEZ-ANAYA, Y.; PASTRANA-PUCHE, Y.; ALVAREZ-BADEL, B. Physico-chemical and sensory characterization of sweet biscuits made with Yacón flour (*Smallanthus sonchifolius*). **NFS Journal**, v. 22, p. 14–19, 2021.

SINGH, R. S.; SINGH, R. P.; KENNEDY, J. F. Recent insights in enzymatic synthesis of fructooligosaccharides from inulin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, p. 565–572, 2016.

SINGH, R.S.; SINGH, T.; PANDEY, A. Fungal endoinulinase production from raw Asparagus inulin for the production of fructooligosaccharides. **Bioresource Technology Reports**, v. 10, 100417, 2020.

SINGH, S. P.; JADAUN, J. S.; NARNOLIYA, L. K.; PANDEY, A. Prebiotic Oligosaccharides: Special Focus on Fructooligosaccharides, Its Biosynthesis and Bioactivity. **Appl Biochem Biotechnol**, v.183, p. 613–635, 2017.

SIROLI, L.; PATRIGNANI, F.; SERRAZANETTI, D. I.; GARDINI, F.; LANCIOTTI, R. Innovative strategies based on the use of bio-control agents to improve the safety, shelf-life and quality of minimally processed fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 46, p. 302-310, 2015.

SLAVIN, J. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. **Nutrients**, v. 5, n. 4, p.1417-1435, 2013.

SOUSA, R.; MUÑOZ-MAHAMUD, E.; QUAYLE, J.; COSTA, L. D. da; CASALS, C.; SCOTT, P.; LEITE, P.; VILANOVA, P.; GARCIA, S.; RAMOS, M. H.; DIAS, J.; SORIANO, A.; GUYOT, A. Is Asymptomatic Bacteriuria a Risk Factor for Prosthetic Joint Infection? **Clinical Infectious Diseases**, v. 59, n. 1, p. 41-47, 2014.

TACO -**Tabela brasileira de composição de alimentos** / Nepa – Núcleo de Estudos e pesquisas em Alimentação. UNICAMP. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. 161 p.

TAVASSOLI-KAFRANI, E.; SHEKARCHIZADEH, H.; MASOUDPOUR-BEHABADI, M. Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. **Carbohydrate Polymers**, v. 137, p. 360–374, 2016.

TYUFTIN, A. A; KERRY, J. P. Gelatin films: Study review of barrier properties and implications for future studies employing biopolymer films. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 29, 100688, 2021.

USALL, J.; IPPOLITO, A.; SISQUELLA, M.; NERI, F. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v.122, p.30–40, 2016.

VALIÑAS, M. A.; LANTERI, M. L.; TEN HAVE, A.; ANDREU, A. B. Chlorogenic acid biosynthesis appears linked with suberin production in potato tuber (*Solanum tuberosum*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 19, p. 4902–4913, 2015.

VANDENPLAS, Y.; ZAKHAROVA, I.; DMITRIEVA, Y. Oligosaccharides in infant formula: more evidence to validate the role of prebiotics. **British Journal of Nutrition**, v. 113, p. 1339–1344, 2015.

VERMA, D. K.; PATEL, A. R.; THAKUR, M.; SINGH, S.; TRIPATHY, S.; SRIVASTAV, P. P.; CHÁVEZ-GONZALEZ, M. L.; GUPTA, A. K.; AGUILAR, C. N. A review of the composition and toxicology of fructans, and their applications in foods and health. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 99, 103884, 2021.

VISHWAKARMA, V. K.; GUPTA, J. K.; UPADHYAY, P. K. Pharmacological importance of *Cucumis melo* L.: An overview. **Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research**, v. 10, n. 3, p. 8 – 12, 2017.

VUYST, L.de; LEROY, F. Cross-feeding between bifidobacteria and butyrate-producing colon bacteria explains bifidobacterial competitiveness, butyrate production, and gas production. **International Journal of Food Microbiology**, v. 149, p. 73–80, 2011.

WALDRON, K. W.; SMITH, A. C.; PARR, A. J.; NG, A.; PARKER, M. L. New approaches to understanding and controlling cell separation in relation to fruit and vegetable texture. **Trends in Food Science & Technology**, v. 8, p. 213-221, 1997.

WANG, D.; YEATS, T. H.; ULUISIK, S.; ROSE, J. K. C.; SEYMOUR, G. B. Fruit Softening: Revisiting the Role of Pectin. *Trends in Plant Science*, v. 23, n.4, 2018.

WANG, S.; XIAO, Y.; TIAN, F.; ZHAO, J.; ZHANG, H.; ZHAI, Q.; CHEN, W. Rational use of prebiotics for gut microbiota alterations: Specific bacterial phylotypes and related mechanisms. **Journal of Functional Foods**, v. 66, 103838, 2020.

YOUSUF, B.; QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 89, p. 198–209, 2018.

ZAMBRANO-ZARAGOZA, M. L.; GUTIÉRREZ-CORTEZ, E.; DEL REAL, A.; GONZÁLEZ-REZA, R. M.; GALINDO-PÉREZ, M. J.; QUINTANAR-GUERRERO, D. Fresh-cut Red Delicious apples coating using tocopherol/mucilage nanoemulsion: Effect of coating on polyphenol oxidase and pectin methylesterase activities. **Food Research International**, v. 62, p. 974–983, 2014.

ZHANG, W.; JIANG, H.; CAO, J.; JIANG, W. Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 355–365, 2021.

ZHANG, W.; JIANG, W. UV treatment improved the quality of postharvest fruits and vegetables by inducing resistance, **Trends in Food Science & Technology**, v. 92, p. 71–80, 2019.

ZHAO, Y. Edible Coatings for Extending Shelf-Life of Fresh Produce During Postharvest Storage. **Encyclopedia of Food Security and Sustainability**, v. 2, p. 506-510, ed.: Elsevier, ISBN 9780128126882, 2019.

3 CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO DO XAROPE DE YACON E SUA APLICAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE UM REVESTIMENTO COM POTENCIAL PREBIÓTICO

RESUMO

Os revestimentos comestíveis têm sido utilizados na conservação de frutos devido às suas propriedades de barreira às trocas gasosas, além de poder veicular componentes bioativos que possam trazer benefícios a saúde. Dentre esses componentes, podemos destacar os prebióticos e os antioxidantes, ambos presentes no xarope de yacon, que é um produto concentrado desenvolvido na Embrapa Agroindústria Tropical. Assim, o objetivo desta pesquisa foi produzir e caracterizar um revestimento (filme) para frutos a base de gelatina bovina adicionada desse produto, caracterizado como prebiótico por ser uma fonte de FOS. A caracterização do xarope yacon foi realizada por meio de análises físicas, químicas e físico-químicas, incluindo o seu potencial antioxidante e conteúdo de frutooligossacarídeos (FOS). Os filmes foram caracterizados através de análises físicas, propriedades de barreira, ópticas e mecânicas, adotando-se delineamento inteiramente casualizado, submetidos à análise de variância (ANOVA) realizada com auxílio do software SISVAR versão 5.6, e para a comparação das médias utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados destacam que o xarope é um ingrediente com potencial para enriquecimento de alimentos, em função dos níveis consideráveis de minerais, açúcares (60,88%), carboidrato (66,25%), fenólicos totais (13.897,2 μg ácido gálico Kg^{-1}), com especial atenção ao ácido clorogênico (2.148,1 μg Kg^{-1}), atividade antioxidante (FRAP: 33.050,00 μM F_2SO_4 Kg^{-1} ; ABTS: 9.430,00 μM trolox Kg^{-1}) e (FOS (17,22%). A incorporação do xarope de yacon no filme de gelatina resultou em aumento na espessura e baixa umidade, sem alterações da matéria insolúvel. A permeabilidade ao vapor de água, as propriedades mecânicas e os atributos de cor dos filmes comestíveis foram modificados após a incorporação do xarope de yacon. O filme comestível de gelatina com xarope de yacon caracteriza-se como um produto que pode exibir efeito protetor, e com potencial funcional para aplicação em frutos e hortaliças *in natura* e/ou processados frescos.

Palavras-chave: FOS; cobertura; Bioativo; gelatina; pós-colheita.

ABSTRACT

Edible coatings have been used in fruit preservation due to their barrier properties to gas exchange, in addition to being able to convey bioactive components that can bring health benefits. Among these components, we can highlight prebiotics and antioxidants, both present in yacon syrup, which is a concentrated product developed at Embrapa Tropical Agroindustry. Thus, the objective of this research was to produce and characterize a coating (film) for fruits based on bovine gelatin added to this product, characterized as a prebiotic for being a source of FOS. The characterization of yacon syrup was performed through physical, chemical and physicochemical analyses, including its antioxidant potential and fructooligosaccharides (FOS) content. The films were characterized through physical analysis, barrier properties, optical and mechanical, adopting a completely randomized design, submitted to analysis of variance (ANOVA) performed with the aid of the SISVAR software version 5.6, and for the comparison of the means it was used Tukey's test at 5% probability. The results highlight that the syrup is an ingredient with potential for food enrichment, due to the considerable levels of minerals, sugars (60.88%), carbohydrate (66.25%), total phenolics (13,897.2 μg gallic acid Kg^{-1}), with special attention to chlorogenic acid (2,148.1 μg Kg^{-1}), antioxidant activity (FRAP: 33,050.00 μM F2SO4 Kg^{-1} ; ABTS: 9,430.00 μM trolox Kg^{-1}) and FOS (17.22%) The incorporation of yacon syrup in the gelatin film resulted in an increase in thickness and low humidity, without changes in the insoluble matter. The permeability to water vapor, the mechanical properties and the color attributes of the edible films were modified after incorporation of yacon syrup. The edible film of gelatin with yacon syrup is characterized as a product that can exhibit a protective effect, and with functional potential for application in fresh fruits and vegetables and/or fresh processed.

Keywords: FOS; coverage; bioactive; gelatine; post-harvest.

3.1 INTRODUÇÃO

Os alimentos de origem vegetal apresentam importância social e econômica para o mercado interno e externo devido às suas características nutricionais e sensoriais. Contudo, esses alimentos estão sujeitos a modificações após a sua colheita como aceleração do metabolismo que favorece um menor tempo de vida útil. Nesse contexto, têm-se adotado diversas técnicas, geralmente combinadas, para proteção física e dos atributos organolépticos dos frutos e hortaliças, seja na forma *in natura* e/ou processada.

Os filmes e revestimentos biodegradáveis e comestíveis formulados com polímeros derivados de plantas ou animais vêm se destacando na indústria alimentícia, como alternativas às embalagens convencionais na conservação dos produtos por retardarem a senescência (YOUSUF *et al.*, 2018). Esta tecnologia é viável e de grande potencial por apresentar propriedades mecânica e de barreira à gases e vapor de água (SALGADO *et al.*, 2015). Além dessas vantagens, as matrizes poliméricas de embalagens ativas podem ser adicionadas de prebióticos (a exemplo dos frutooligossacarídeos - FOS), que são substratos seletivamente utilizados por microrganismos hospedeiros (probióticos) que conferem benefícios à saúde (GIBSON *et al.*, 2017). Estudos recentes utilizaram fontes de FOS como ingrediente funcional em embalagens comestíveis à base de amido (BERSANETI *et al.*, 2019; OROZCO-PARRA *et al.*, 2020).

Os FOS são oligossacarídeos encontrados em espécies vegetais como yacon (*Smallanthus sonchifolius*), sendo reconhecido por armazenar uma quantidade expressiva de frutooligossacarídeos em suas raízes. Comumente, as raízes são consumidas em sua forma *in natura*, todavia, podem ser utilizadas para a produção de xarope a partir da fração microfiltrada do yacon que apresenta em sua composição FOS para atuar como fonte prebiótica (SILVA *et al.*, 2018). Pesquisas mostram que adição do xarope de yacon em bebidas (MENDES *et al.*, 2019) e em iogurte (SILVA *et al.*, 2017) foi responsável por aumentar a aceitabilidade destes produtos, além de conferir um apelo funcional aos mesmos. Além disso, estudos realizados com esse xarope mostraram uma diminuição dos níveis de insulina e glicemia pós-prandial em indivíduos que consumiram o produto (ADRIANO *et al.*, 2019), reforçando o papel funcional do xarope de yacon.

Mediante tais constatações, esta pesquisa justifica-se pela necessidade da elaboração de um revestimento comestível adicionado do yacon como fonte prebiótica, visando auxiliar na conservação e extensão da vida útil de alimentos frescos, bem como para suplementar de sistemas alimentares com ingredientes funcionais como os FOS.

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi processar e caracterizar o xarope de yacon, bem como desenvolver e elucidar as propriedades de embalagens comestíveis à base de gelatina suplementado do xarope de yacon, como produto funcional, versátil e promissor para indústria de alimentos.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 MATERIAL

As raízes do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) foram adquiridas em comércio local de Fortaleza, CE. A gelatina bovina comercial (Bloom valor 226, PB Leiner Brasil, Acorizal, Brasil) foi utilizada na formulação do revestimento comestível.

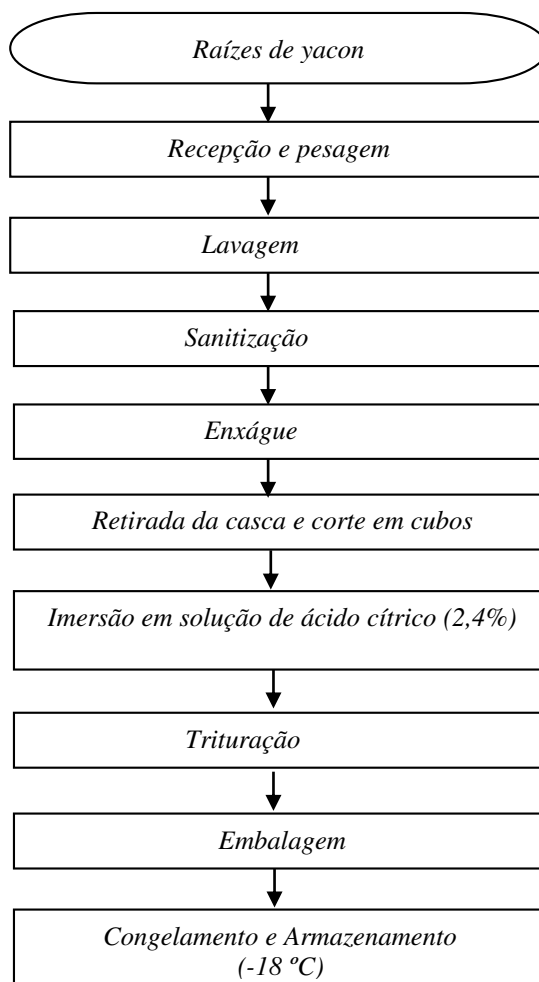
3.2.2 MÉTODOS

3.2.2.1 Processo de obtenção do xarope de yacon

O xarope de yacon foi obtido a partir do processamento da raiz conforme metodologia descrita por DIONÍSIO *et al.* (2013). Durante a recepção, as raízes foram pesadas e em seguida lavadas em água corrente para retirada das sujidades, materiais estranhos e resíduos. Posteriormente, foram sanitizadas em água clorada contendo aproximadamente 200 ppm de cloro ativo por litro de água por 15 minutos. A casca de yacon foi removida manualmente e a porção comestível cortada em cubos de 1 cm³ e imersos em solução de ácido cítrico (2,4 %, p/v) por 8 minutos para inativar a enzima polifenol oxidase. Por conseguinte, as raízes foram processadas em liquidificador industrial e a polpa foi recolhido e acondicionado em sacos de polietileno, lacrados por uma seladora, mantido estocado em temperatura de congelamento (-18 °C) até que fosse realizada a etapa de microfiltração.

A microfiltração da polpa foi realizada em laboratório, utilizando-se um equipamento piloto de bancada com um conjunto de 4 membranas cerâmicas de óxido de alumínio monotubulares em série (MEMBRALOX Pall-Exekia), com área total de filtração de 0,022 m² e diâmetro médio de poro de 0,2 µm. A pressão transmembrana média foi de 2,75 bar, com temperatura controlada a 40 °C (± 2 °C). Em seguida, o material foi concentrado para 70,7 °Brix sob vácuo (560 mmHg) e temperatura de 60 ± 5 °C, armazenados em temperatura de congelamento para posterior caracterização (**Figura 4**).

Figura 4 - Fluxograma do processamento para obtenção do xarope de yacon. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.



3.2.2.2 Caracterização do xarope de yacon

3.2.2.2.1 Atributos físicos, químicos e físico-químicos

3.2.2.2.1.1 Sólidos solúveis totais (SST)

Medido de acordo com a AOAC (2016), a partir da leitura direta utilizando refratômetro digital portátil (Atago Modelo Pocket PAL-3, Tóquio, Japão, escala de 0-93%) com compensação automática de temperatura. Os resultados foram expressos em °Brix.

3.2.2.2.1.2 Acidez total titulável (ATT)

Foi determinada utilizando a técnica titulométrica com solução de NaOH 0,1 M segundo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008). Foi pesado 1 g da amostra e adicionado 50 mL de água destilada. A fenolftaleína alcoólica a 1% foi utilizada como indicador e, uma solução de NaOH

0,1 M foi adicionada lentamente até a mudança de cor para levemente róseo. O resultado foi expresso em percentagem (%) de ácido cítrico.

3.2.2.2.1.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

Estimado em pHmetro digital (Mettler Toledo, modelo F20, Ohio, EUA) com ajuste automático de temperatura, padronizado com soluções tampões pH 4,0 e 7,0, conforme metodologia preconizada pela AOAC (2016).

3.2.2.2.1.4 Cor instrumental

As medições de coloração do xarope de yacon para os parâmetros Luminosidade* (claro/escuro), coordenada a* (verde/vermelho), coordenada b* (azul para amarelo), ângulo hue e cromaticidade, foram realizadas utilizando Colorímetro ColoQuest XE HunterLab, pelo método de refletância especular exclusiva.

3.2.2.2.1.5 Açúcares solúveis totais

Os açúcares solúveis totais foram determinados pelo método da antrona descrita por YEMN; WILLIS (1954). Uma alíquota de 0,1 g de xarope de yacon foi diluída em 250 mL de água destilada, em balão volumétrico. O conteúdo do balão foi homogeneizado e filtrado em papel de filtro e utilizou-se uma alíquota de 0,1 ml do extrato e 0,9 mL de água para reação com antrona 0,1% (2 mL do reagente). Os tubos contendo a amostra foram agitados e colocados em banho de gelo, após receberem o reativo (antrona) foram colocados em banho-Maria a 100 °C por 8 minutos, e imediatamente devolvidos ao banho de gelo. A absorbância foi medida em espectrofotômetro (Spectronic Genesys 2) a 620 nm e os resultados, baseados em uma curva padrão de glicose P.A. foram expressos em % de glicose.

3.2.2.2.2 Potencial antioxidante

Para a determinação do conteúdo de polifenóis totais e da atividade antioxidante total pelos métodos ABTS (ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolino-6-sulfônico)) e FRAP (Poder antioxidante de redução do ferro), foi preparado um extrato conforme metodologia descrita por LARRAURI *et al.* (1997) adaptada por RUFINO *et al.* (2010). Para obtenção do extrato, 2 g do xarope de yacon foram homogeneizados em 4 mL de metanol 50% em agitador tipo Vórtex, durante 30 segundos, e a mistura deixada em repouso por 60 minutos à temperatura ambiente (25 °C) e ao abrigo da luz. Após o repouso, as soluções foram centrifugadas a 15.000 rpm, durante 15 minutos, e o sobrenadante (designado como 1) foi filtrado e recolhido em um balão

volumétrico de 10 mL. Ao resíduo dessa primeira extração, foram adicionados 4 mL de acetona 70%, e repetiu-se todo o processo de homogeneização e repouso. A solução foi centrifugada novamente a 15.000 rpm, durante 15 minutos, o sobrenadante (designado como 2) foi filtrado, recolhido e misturado ao sobrenadante 1 em balão volumétrico (10 mL), completando-se o volume do extrato com água destilada e considerado como extrato para as análises a seguir.

3.2.2.2.2.1 Determinação de polifenóis extraíveis totais (PET)

O conteúdo de polifenóis extraíveis totais (PET) foi medido utilizando método de Folin-Ciocalteu, de acordo com OBANDA; OWUOR (1997) com modificações. Em tubos de ensaio, foram adicionados 50 µL do extrato, 450 µL de água destilada, 500 µL do reagente Folin-Ciocalteu (1:3), 1000 µL de carbonato de sódio anidro (20%) e 1000 µL de água destilada, sendo, posteriormente, os tubos homogeneizados utilizando agitador do tipo Vórtex. A absorbância foi medida em leitor de microplaca (Synergyx Mx, Biotek, Estados Unidos) à 700 nm, após 30 minutos de reação. O conteúdo de PET foi calculado a partir de uma curva padrão de ácido gálico (0-50 µg) e os resultados expressos em mg ácido gálico Kg⁻¹ de massa fresca (MF).

3.2.2.2.2.2 Determinação do ácido clorogênico

A quantificação do ácido clorogênico foi realizada conforme descrito por JAISWAL *et al.* (2011) com modificações. A análise foi realizada em um instrumento HPLC-PDA (Shimadzu, bombas LC, forno, PDA) acoplado a um detector de arranjo fotodiodo (PDA). Uma coluna CLC-ODS (M) Shim-pack (Shimadzu C₁₈ 4,6 × 150 mm, 5 µm) foi usada a uma vazão de 1,2 mL minutos⁻¹, mantida a 42 °C. A amostra foi previamente filtrada (PVDF 0,45 µm, Tedia, Brasil) e o volume de injeção foi de 20 µL. A fase móvel consistiu em uma combinação de solvente A (0,1% de ácido fórmico em água) e solvente B (metanol). O gradiente variou linearmente de 10% a 40% B (v/v) em 22 minutos, a 70% B a 36 minutos, e mantido por 6 minutos e absorbância monitorada a 324 nm. A quantificação foi realizada usando uma curva de calibração externa do CGA (10 µg g⁻¹ - 200 µg g⁻¹) e os resultados foram expressos como µg ácido clorogênico Kg⁻¹ MF.

3.2.2.2.2.3 Determinação da atividade antioxidante total por ABTS

A determinação do potencial antioxidante pelo método do radical ABTS foi realizada segundo metodologia descrita por RE *et al.* (1999), seguindo as modificações de RUFINO *et al.* (2007). Para o preparo da curva, o radical ABTS foi produzido a partir da reação entre 5 mL

da solução estoque de ABTS (7 mM) com 88 μL da solução de persulfato de potássio (140 mM) na ausência de luz por 16 h. Posteriormente, transferiu-se uma alíquota de 30 μL das soluções de trolox (100, 500, 1.000, 1.500 e 2.000 μM) para tubos de ensaios e, em seguida, adicionou-se 3,0 mL de solução do radical ABTS em agitador de tubos, o qual foi homogeneizado e após 6 minutos, realizado a leitura da absorbância a 734 nm em espectrofotômetro (Cary 50 Bio – Varian UV-Visible spectrophotometer), utilizando álcool etílico como branco. Plotou-se os dados de concentração e absorbâncias em gráfico de dispersão e obteve-se a equação da reta (NENADIS *et al.*, 2004). A partir do extrato elaborado, preparou-se três diferentes diluições (175.000, 100.000 e 25.000), em triplicata. Em tubos de ensaio foram adicionados 30 μL dos extratos e 3000 μL do radical ABTS (com absorbância previamente ajustada $0,700 \pm 0,02$). Após 6 minutos foram realizadas as leituras das absorbâncias em espectrofotômetro a 734 nm. O cálculo da atividade antioxidante total foi obtido a partir da curva padrão de Trolox (100 - 2.000 μM) e os resultados foram expressos em μM Trolox Kg^{-1} MF.

3.2.2.2.4 Determinação da atividade antioxidante total por FRAP

A atividade antioxidante pelo método FRAP foi determinada conforme metodologia proposta por BENZIE; STRAIN (1996); PULIDO *et al.* (2000), modificada por RUFINO *et al.* (2006). Inicialmente, elaborou-se a curva-padrão onde transferiu-se 90 μL de solução de sulfato ferroso em diferentes concentrações (500, 1000, 1500 e 2000 μM) para tubos de ensaio. Adicionou-se 270 μL de água destilada e 2,7 mL de reagente FRAP, homogeneizando-os em um agitador de tubos e mantendo-os em banho-Maria à 37 °C por 30 minutos. A absorbância a 595 nm foi medida em espectrofotômetro (Cary 50 Bio – Varian UV-Visible spectrophotometer), utilizando como branco o reagente FRAP.

Para análise das amostras, foram realizadas três diluições do extrato (50.000, 25.000, 10.000), a partir das quais foram transferidas uma alíquota de 45 μL para tubos de ensaio. Em seguida foram adicionados 135 μL de água destilada e 1,35 mL do reagente FRAP (25 mL de solução tampão acetato 0,3 M, 2,5 mL de solução TPTZ (Sal de 2,4,6-Tri-(2-Piridil)-1,3,5-Triazina) 10 mM, 2,5 mL de solução de cloreto férrico 20 mM). Após a homogeneização das amostras, os tubos de ensaio foram colocados em banho-Maria a 37 °C por 30 minutos. Após esse período, foi realizada leitura das absorbâncias à 595 nm. À atividade antioxidante foi calculada com base na curva padrão de sulfato ferroso (500 - 2.000 μM) e o resultado expresso em μM sulfato ferroso Kg^{-1} MF.

3.2.2.2.3 Composição química

3.2.2.2.3.1 Umidade

A umidade foi determinada conforme método 923.09 (AOAC, 2005), sendo 3,0 g da amostra e 2,0 g de Celite mantidos em estufa a 105 °C por 8 horas e após isso, foram retiradas, resfriadas em dessecador em temperatura ambiente e pesadas. A análise foi realizada com cinco repetições e os resultados expressos em %.

3.2.2.2.3.2 Cinzas

As cinzas foram determinadas conforme método 923.03 descrito pela AOAC (2016). À amostra (3,0 g) foi pesada em cadinhos de porcelana e 2,0 g de Celite. Posteriormente, as amostras foram calcinadas em forno mufla a 550 °C por 6 horas. Em seguida, retiradas, resfriadas em dessecador em temperatura ambiente por 1 hora e pesadas. A avaliação foi realizada com cinco repetições e o resultado apresentado em %.

3.2.2.2.3.3 Lipídios

Os lipídios foram avaliados pelo método nº Am 5-04 da American Oil Chemists Society (AOCS, 2005; ANKOM, 2009), usando o sistema de extração sob alta pressão e alta temperatura em equipamento automático analisador de gordura (ANKOM, modelo XT15), utilizando hexano como solvente, sendo a amostra envolvida em celite e colocados em saquinhos do tipo bag, levadas a extração por 3 horas. Em seguida, foram levadas a estufa a 105 °C por 1 hora. Após este tempo, o material foi retirado, resfriado em dessecador em temperatura ambiente por 1 hora e pesados. A análise foi realizada com cinco repetições e o resultado apresentado em %.

3.2.2.2.3.4 Proteína bruta

A metodologia de referência utilizada para a determinação de proteína bruta foi o método de Dumas (VELP Científica, modelo Dumas NDA 702), que consiste na determinação de nitrogênio e proteína através da combustão da amostra, ocorrendo a redução, separação e detecção das substâncias analisadas (AOCS, 2009). Para isso, foram pesados em cápsula de estanho, 50 mg de chromosorb e 100 mg do xarope de yacon, as quais foram colocadas no equipamento analisador de nitrogênio para digestão oxidativa com oxigênio puro (99,99%). A proteína bruta foi calculada multiplicando-se o teor de nitrogênio encontrado pelo fator de correção 6,25. A avaliação foi realizada com cinco repetições e o resultado expresso em %.

3.2.2.2.3.5 Carbohidratos

A quantidade total de carboidratos foi calculada por diferença, que representa os 100% e os valores obtidos a partir das análises de proteínas, lipídeos, cinzas e umidade (AOAC, 2005), seguindo a equação abaixo descrita (Eq. 1) A análise foi realizada com cinco repetições e o resultado apresentado em %.

$$\text{Carbohidratos\%} = 100 - (\text{Proteínas\%} + \text{Cinzas\%} + \text{Umidade\%} + \text{Lipídios\%}) \text{ (Eq. 1)}$$

3.2.2.2.3.6 Valor energético

O valor energético total em 100 g de xarope de yacon foi estimado seguindo os valores calóricos de conversão de Atwater: Valor calórico = (g de proteína × 4) + (g de lipídios × 9) + (g de carboidratos × 4) (MONTEIRO *et al.*, 2008). O resultado expresso em %.

3.2.2.2.3.7 Atividade de água

A atividade de água foi determinada em medidor digital portátil de atividade de água Aqualab 4TE (Decagon Devices, Pulmann, modelo CX-2T, Washington, EUA) por ponto de orvalho da amostra a temperatura de 25 °C. A avaliação foi realizada com três repetições e os resultados foram apresentados como média e desvio padrão.

3.2.2.2.3.8 Análise mineral

Uma alíquota de 1 g foi colocada em um tubo de digestão e reagiu com ácido nítrico e ácido perclórico (3:1 v/v). A digestão foi realizada utilizando um bloco digestor a 200 °C durante 4 h. Após o resfriamento, o volume foi ajustado a 50 mL com água deionizada, filtrado, e analisados por espectrometria de emissão óptica de plasma acoplada indutivamente (Agilent, modelo 5100, Mulgrave, Austrália) para fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, cobre, ferro, zinco e manganês, seguindo o método descrito por MIYAZAWA *et al.* (2009) com algumas modificações. Os resultados foram expressos em g Kg⁻¹ de xarope para os macronutrientes e em mg Kg⁻¹ para os micronutrientes.

3.2.2.2.4 Análise de fibra alimentar e frutooligossacarídeos (FOS)

A determinação de fibra dietética alimentar (frações insolúveis e frações solúveis) foram determinadas de acordo com o método 991.43 da AOAC (2010), utilizando analisador automático de fibra alimentar TDF da ANKON (ANKON Technology Corporation). A fibra dietética alimentar total (TDF) foi obtida pela soma das frações insolúvel e solúvel, como preconiza o mesmo método e os resultados foram expressos em g Kg⁻¹. Os frutooligossacarídeos

(FOS) foram determinados conforme o método oficial 999.03 da AOAC (2012), e os resultados foram expressos como % FOS.

3.2.2.2.5 *Análise microbiológica*

A qualidade microbiológica do xarope de yacon produzido foi avaliada pela contagem total de microrganismos de fungos filamentosos e leveduras, coliformes totais, *Staphylococcus* spp. e pesquisa de *Salmonella* spp., conforme a metodologia descrita no manual FDA's Bacteriological Analytical Manual (APHA, 2001; ANDREWS *et al.*, 2014). Os resultados foram expressos como UFC/mL para *Staphylococcus* spp. e fungos filamentosos e leveduras, NMP/mL para coliformes totais e ausência para *Salmonella* spp.

3.2.2.3 *Desenvolvimento e caracterização do revestimento de gelatina adicionado de xarope de yacon como fonte de FOS.*

Neste tópico, será apresentado o desenvolvimento dos revestimentos de gelatina adicionado com xarope de yacon, os quais foram caracterizados na forma de filmes.

O revestimento de gelatina foi preparado conforme FAKHOURI *et al.* (2018) utilizando 10 g de gelatina bovina em pó que foi hidratada com água destilada (100 mL) por 1 hora em temperatura ambiente. Após esse período, a mistura foi aquecida a 70 °C em banho-Maria até à completa dissolução, durante 10 minutos. Em seguida, o glicerol foi adicionado numa proporção de 1:0,05 (p p⁻¹) de gelatina: plastificante, sendo esse o revestimento puro. O revestimento adicionado de yacon foi preparado por adição de 10% de xarope de yacon correspondendo a 17,22% de FOS, após a etapa de adição do glicerol, atendendo à quantidade mínima exigida pela legislação em relação ao FOS para ser considerado como um produto com propriedades funcionais ou de saúde (ANVISA, 2019).

Após o preparo, os revestimentos ou soluções filmogênicas de gelatina com ou sem xarope de yacon foram desgaseificadas em rotaevaporador (Fisatom, modelo 803) para remover bolhas de ar. Os filmes foram obtidos por *casting* (espalhamento), onde as soluções foram depositadas sobre película do tipo Mylar® fixados em placas de vidro de 30 x 30 cm, espalhadas com uma barra niveladora ajustada para uma espessura final de 0,10 mm e deixados secar a 24 °C durante 24 horas. As amostras secas foram cortadas e separadas da superfície do Mylar®.

3.2.2.3.1 *Cor e Opacidade*

A cor do filme foi medida em um colorímetro (HunterLab, modelo ColorQuest XE, Virginia, EUA), através do método de transmissão total, e resultados baseados no sistema

CIELAB definida pelos eixos perpendiculares e pelas coordenadas de cores: Luminosidade* varia do preto (0%) ao branco (100%), coordenada a* do verde (-) ao vermelho (+), coordenada b* do azul (-) ao amarelo (+), Cromaticidade (C*) representa a saturação e ângulo hue (h) expresso em graus (0° é vermelho e 90° é amarelo), a partir de três leituras.

A opacidade do filme foi determinada de acordo com método descrito por IRISSIN-MANGATA *et al.* (2001), em quintuplicata. Amostras dos filmes foram cortadas em retângulos de 2 x 4 cm e colocadas no interior de célula de espectrofotômetro Varian Cary 50 UV-vis, perpendicularmente à luz. Realizou-se a varredura de 400 a 800 nm, e a opacidade foi definida como a área sob a curva da absorbância versus comprimento de onda (estimada pelo método trapezoidal) e expressa como unidade de absorbância x nanômetro (comprimento de onda) /milímetros (espessura do filme ($A \text{ nm mm}^{-1}$)).

3.2.2.3.2 Espessura e propriedades que influenciam às relações hídricas

A espessura do filme foi determinada calculando-se a média de nove medições de cada filme à base de gelatina, através do Micrômetro Externo Digital, modelo QuantuMike (margem de erro do equipamento: $\pm 1 \mu\text{m}$). O resultado expresso em mm.

No filme, a determinação da P_{VA} foi realizada com discos de 3 mm de diâmetro (oito replicatas), com base no método E96-00 (ASTM, 2000) a 25°C, usando sílica gel como dessecante em dessecador vertical Arsec DCV040. Foram realizadas 8 pesagens ao longo de 24 horas, com intervalo mínimo de 1 hora entre as pesagens, onde as amostras foram seladas em células de permeação de acrílico com 2,4 cm de diâmetro e 5 cm de altura e contendo em seu interior 2 ml de água destilada. As amostras (30 mm de diâmetro) foram previamente acondicionadas por 48 horas com temperatura ($23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) e umidade ($50 \pm 5\%$) controladas. O resultado foi expresso em $\text{g mm kPa}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$.

O teor de umidade dos filmes foi calculado em balança de infravermelho Marte modelo ID50 a 105 °C, utilizando 1 g das amostras dos filmes de gelatina com e sem xarope de yacon, acondicionados por 48 horas em ambiente com temperatura e umidade relativa controladas ($23 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5 \%$). As massas iniciais e finais foram registradas, obtendo-se o percentual de umidade presente. A análise foi realizada em quintuplicata para cada filme, e o resultado expresso em porcentagem (%).

A solubilidade dos filmes em água é definida como a quantidade de matéria seca solubilizada após 24 horas de imersão em água, medida de acordo com PENA-SERNA; LOPES-FILHO (2013). Os filmes a base de gelatina com e sem xarope de yacon foram cortados em discos de 3 mm de diâmetro, os quais foram secos em estufa a 105°C por 24 horas e pesados

(peso inicial, m_i). Posteriormente, imersos em 50 mL de água destilada a 25 ± 2 °C por 24 horas sob agitação em shaker orbital (MA-410, Marconi, Brazil) a 76 rpm. Após a imersão, os discos foram filtrados e novamente secos a 105 °C por 24 horas. Por conseguinte, os filmes foram acondicionados por 1 hora em dessecador antes da pesagem e assim determinar o peso final (m_f). O teor de matéria insolúvel foi realizado em quintuplicata, calculado segunda a fórmula abaixo, e o resultado expresso em porcentagem (%).

$$MI = \frac{m_f}{m_i} \times 100$$

O ângulo de contato dos filmes foi determinado para avaliar a hidrofobicidade pelo método da gota séssil, através do medidor de ângulo de contato Dataphysics® OCA 20 (Alemanha). O sistema de aquisição de imagens foi conectado a um computador e, através de um software, as imagens do momento em que a gota do líquido (água destilada) toca a superfície foram processadas para obtenção do ângulo de contato, determinado pela média dos ângulos direito e esquerdo de três gotas nos tempos de 0, 30, 60, 90, 120 segundos.

Para esta avaliação, foram utilizadas seções retangulares dos filmes à base de gelatina fixadas em uma lâmina de vidro, colocadas na base do aparelho. Aproximadamente 0,1 mL de água foi colocada em uma seringa. A determinação do ângulo de contato foi realizada a partir da fotografia do gotejamento da água no filme, captada por uma câmera digital. Para ângulos de contato menores que 90°, as superfícies foram consideradas hidrofílicas, enquanto ângulos maiores que 90°, as superfícies foram consideradas hidrofóbicas.

3.2.2.3.3 *Ensaio mecânico*

As propriedades mecânicas foram medidas em corpos de prova (nove repetições) obtidos em prensa estampadora Ceast nas dimensões 125 mm x 12,5 mm, acondicionados por 48h em ambiente com temperatura e umidade relativa controladas (23 ± 1 °C e $50 \pm 5\%$) baseado no método D882-01 (ASTM, 2001), usando um Emic DL-3000 Universal Testing Machine com célula de carga CCE 100N, separação inicial entre as garras de 100 mm e velocidade de deformação de $12.5 \text{ mm minutos}^{-1}$.

3.2.2.4 *Análise estatística*

Os dados obtidos para a caracterização do xarope de yacon foram apresentados em média \pm desvio padrão. Para os filmes, os valores foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando o SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011). O estudo de comparação foi

realizado pelo Teste de Tukey, onde as diferenças foram consideradas significativas em $p \leq 0,05$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do Xarope de Yacon

4.1.1 Atributos físicos, químicos e físico-químicos

O xarope de yacon foi caracterizado através de análises físicas, químicas e físico-químicas. Os resultados médios das análises de cor, pH, sólidos solúveis totais (°Brix), acidez total titulável, açúcares totais e atividade de água com seus respectivos desvios-padrões estão apresentados na **Tabela 2**.

As características cromáticas apresentam valores positivos de a^* , b^* e C^* , ou seja, nuances vermelha e amarela, corroborando com o ângulo Hue que indica que o xarope de yacon possui tonalidade amarela com aproximadamente 85°. Ainda, o xarope apresentou 76,12 de luminosidade, indicando uma tendência mais clara por se aproximar de 100.

Tabela 2 – Características físico-químicas do xarope de yacon. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

Variáveis	Xarope de Yacon	
	Valores*	CV (%)
Luminosidade (L^*)	76,12 ± 0,06	0,07
Coordenada a^*	5,36 ± 0,01	0,11
Coordenada b^*	55,34 ± 0,05	0,09
Cromaticidade (C)	55,60 ± 0,05	0,09
Ângulo hue (h)	84,46 ± 0,01	0,01
Sólidos solúveis totais (°Brix)	70,7 ± 0,06	0,08
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	2,50 ± 0,07	2,8
pH	3,96 ± 0,07	1,86
Açúcares totais (%)	60,88 ± 0,07	1,25
Atividade de água	0,83 ± 0,01	1,66

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Todos os valores são expressos como média ± desvio padrão.

A adição de substâncias como o xarope de yacon em matrizes alimentares pode modificar a aparência dos alimentos, ou seja, impactar essa característica determinante para a qualidade comercial e aceitabilidade pelo consumidor. Assim, entende-se que a coloração do xarope não comprometerá a aparência, podendo ser usado como aditivo para revestimentos comestíveis de frutos e hortaliças, ou para outros fins. MENDES *et al.* (2019), ao caracterizar

o xarope de yacon para suplementação de iogurte natural, observaram coloração amarelo à avermelhado, confirmando com os dados obtidos nesta pesquisa.

A concentração de sólidos solúveis totais encontrada no xarope foi de 70,7 °Brix, o que corresponde a diversos compostos associados como os açúcares totais que representam 60,88% dos compostos contidos no xarope. Valores próximos ao encontrado por SILVA *et al.* (2018), em que o xarope de yacon apresentou 71,03 °Brix.

À acidez total titulável é considerada um parâmetro importante devido à sua relação com o pH, estabilidade microbiológica e química e impactar os atributos sensoriais, o que pode afetar a qualidade do produto. O xarope apresenta 2,50% de acidez. Assim, os ácidos orgânicos provenientes das reações bioquímicas que ocorrem durante o desenvolvimento da planta de yacon, contribui significativamente para o sabor do xarope, além de atuarem como precursores de metabólitos secundários, como os aminoácidos (XIN *et al.*, 2021).

O xarope é caracterizado por seus atributos sensoriais que influenciam a qualidade e aceitação pelo consumidor (SILVA *et al.*, 2018). Alterações podem ocorrer durante o processamento das raízes de yacon, podendo estar relacionado ao pH da matéria-prima. O pH do xarope é de 3,96, ou seja, é um produto ácido que contribui para conservação, fator desejável pelas indústrias de alimentos, por dificultar o surgimento e a proliferação de microrganismos, que comprometem a qualidade do produto.

De acordo com os dados (**Tabela 2**), o xarope apresenta 0,83 de atividade da água livre, faixa adequada para dificultar reações de deterioração, como oxidação e contaminação microbiológica do produto (SILVA *et al.*, 2018). As condições de atividade de água, pH e sólidos solúveis totais encontrados no presente trabalho, representam condições desejáveis para preservar e evitar o desenvolvimento de patógenos e outros microrganismos.

4.1.2 Potencial antioxidante

O xarope de yacon foi avaliado quanto ao potencial antioxidante destacando-se o conteúdo de polifenóis extraíveis totais e de ácido clorogênico, assim como a atividade antioxidante total (**Tabela 3**).

As raízes de yacon acumulam constituintes com atividade antioxidante como os polifenóis que se encontravam na concentração de 13.897,2 µg ácido gálico Kg⁻¹ no xarope de yacon. Portanto, o xarope de yacon pode ser considerado um produto com potencial antioxidante capaz de inibir os processos oxidativos (LACHMAN *et al.*, 2005). O interesse em polifenóis é atribuído principalmente à sua contribuição para a saúde humana através de múltiplos efeitos biológicos, que incluem atividades antioxidantes, anti-inflamatórias,

antimutagênicas e anticarcinogênicas, sendo estes os principais constituintes de frutos e de seus derivados (MAQSOOD *et al.*, 2020).

No presente estudo, o conteúdo total de polifenóis é superior ao encontrado por SILVA *et al.* (2018), que ao avaliar as propriedades nutricionais e funcionais do xarope de yacon, encontrou valor de 1.202,25 μg ácido gálico g^{-1} . Essa variação entre os valores obtidos, possivelmente deve-se a fatores de produção (cultivar, condições climáticas, época de plantio e colheita e maturação das raízes), bem como as condições de armazenamento e processamento que também podem influenciar.

Tabela 3 – Polifenóis extraíveis totais e atividade antioxidante do xarope de yacon. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

Variáveis	Xarope de Yacon	
	Conteúdo*	CV (%)
Polifenóis (μg ácido gálico Kg^{-1})	13.897,2 \pm 28,59	2,06
Ácido clorogênico (μg Kg^{-1})	2.148,1 \pm 17,80	8,29
ABTS (μM trolox Kg^{-1})	9.430,00 \pm 0,95	10,11
FRAP (μM F_2SO_4 Kg^{-1})	33.050,00 \pm 1,81	5,47

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Todos os valores são expressos como média \pm desvio padrão.

Dentre os polifenóis presentes no yacon, destaca-se o ácido clorogênico (ACG) com conteúdo de 2.148,1 μg Kg^{-1} , que pertence a uma das principais classes de derivados do ácido hidroxicinâmico, de considerável interesse devido às suas notáveis propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, anticancerígenas e antidiabéticas (UPADHYAY; MOHAN RAO, 2013; SANTANA-GÁLVEZ *et al.*, 2017).

O potencial antioxidante do xarope de yacon para o método ABTS apresentou 9.430,00 μM trolox Kg^{-1} , enquanto para o método FRAP, o valor médio 33.050,00 μM F_2SO_4 Kg^{-1} . As variações observadas pelos diferentes métodos adotados dependem do tipo de solvente, polaridade, composição do extrato, visto que cada método se baseia em determinado mecanismo de reação química que pode influenciar na resposta obtida (ÇELIK *et al.*, 2010). Segundo RUFINO *et al.* (2010), os métodos de determinação da atividade antioxidante ABTS e FRAP se fundamentam no poder de redução do metal e na captura do radical orgânico, respectivamente, geralmente indicados para compostos hidrofílicos.

4.1.3 Composição química

A **Tabela 4** apresenta a composição centesimal do xarope de yacon e nesta, pode-se observar que o principal constituinte foram os carboidratos com 66,25% justificado pelo alto teor de sólidos solúveis totais (70,7 °Brix) e açúcares solúveis (60,88%) encontrados (**Tabela 2**). A umidade do alimento está associada à sua estabilidade, qualidade e composição, sendo um importante parâmetro de comercialização do produto e o xarope de yacon apresentou 30,40% de umidade, considerado baixo o que pode evitar uma rápida deterioração por proliferação de microrganismos, o que compromete à qualidade do produto.

O teor de proteínas encontrado foi de 0,93%, assim o xarope de yacon possui baixa concentração de proteínas em sua composição, corroborando com SILVA *et al.* (2018), que obtiveram 1,61% de proteínas no xarope de yacon. Os lipídeos representavam 0,63% e o valor energético apresentou 263,29%. MENDES *et al.* (2019) também observaram baixo teor de lipídios no xarope de yacon, 0,17%.

Tabela 4 – Composição química do xarope de yacon. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

Variáveis	Xarope de Yacon	
	Valores*	CV (%)
Proteína (%)	0,93 ± 0,01	0,59
Cinzas (%)	1,78 ± 0,01	0,38
Umidade (%)	30,40 ± 0,08	0,25
Lipídeos (%)	0,63 ± 0,06	9,17
Carboidratos (%)	66,25 ± 0,11	0,17
Valor energético (%)	263,29 ± 0,99	0,38
Fósforo (g Kg ⁻¹)	1,06 ± 0,10	9,14
Potássio (g Kg ⁻¹)	9,44 ± 0,87	9,21
Cálcio (g Kg ⁻¹)	0,14 ± 0,01	10,10
Magnésio (g Kg ⁻¹)	0,25 ± 0,02	8,33
Enxofre (g Kg ⁻¹)	0,24 ± 0,02	9,74
Sódio (g Kg ⁻¹)	0,08 ± 0,01	13,33
Cobre (mg Kg ⁻¹)	5,75 ± 0,5	8,70
Ferro (mg Kg ⁻¹)	11,5 ± 1,29	11,23
Zinco (mg Kg ⁻¹)	6,75 ± 1,26	18,64
Manganês (mg Kg ⁻¹)	2,00 ± 0,00	0,00

Fonte: Laboratórios de Análise de Alimentos e de Solos/ Embrapa Agroindústria Tropical.

*Todos os valores são expressos como média ± desvio padrão.

Os resíduos inorgânicos que permanecem logo após a incineração do xarope de yacon representaram 1,78%, estando dentro do limite de 0,1% até 15% aceitável dependendo do alimento analisado (MORETTO, 2008). Dentre os macronutrientes analisados, o potássio apresentou valor de 9,44 g Kg⁻¹ de xarope mostrando-se uma boa fonte desse mineral. O fósforo apresentou concentração de 1,06 g Kg⁻¹, magnésio de 0,25 g Kg⁻¹, enxofre de 0,24 g Kg⁻¹ e cálcio de 0,14 g Kg⁻¹. Quanto aos micronutrientes, destaca-se o sódio com 0,08 g Kg⁻¹, cobre com 5,75 g Kg⁻¹, ferro com 11,5 g Kg⁻¹, zinco com 6,75 g Kg⁻¹ e manganês com 2,00 g Kg⁻¹ de xarope.

SILVA *et al.* (2018) ao avaliar as propriedades nutricionais e funcionais do xarope de yacon, obtiveram valor para o ferro de 1,43 mg.100 g⁻¹ e fósforo de 162,00 mg.100 g⁻¹, por exemplo. A variação na concentração dos minerais é determinada pela produção e acúmulo de metabólitos primários e secundários, que podem diferir entre plantas da mesma espécie devido às condições ambientais, manejo cultural e fitossanitário.

4.1.4 Análise de fibras

As fibras presentes no xarope de yacon assim como o conteúdo de FOS estão apresentados na **Tabela 5**. O conteúdo de fibra alimentar total é de 19,0 g Kg⁻¹, sendo a fração insolúvel igual a 1,0 g Kg⁻¹ e a fração de fibra solúvel igual a 18,0 g Kg⁻¹. MARTINO *et al.* (2020) relataram que o extrato solúvel da farinha de yacon apresentou concentração de 23,26 g 100 g⁻¹ para fibra alimentar total, 20,28 g 100 g⁻¹ para a fração solúvel e 2,98 g 100 g⁻¹ na fração insolúvel e ao avaliar os efeitos do extrato solúvel da farinha de yacon na funcionalidade intestinal, morfologia duodenal e microbiota *in vivo*, constataram que à administração do extrato afetou positivamente a saúde e a função intestinal, aumentando a abundância relativa de *Bifidobacterium* e *Lactobacillus*, regulação de nutrientes e expressões de proteínas relacionadas ao metabolismo.

Tabela 5 – Determinação de fibras e frutooligossacarídeos do xarope de yacon. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

<i>Variáveis</i>	<i>Xarope de Yacon</i>
<i>Fibra Solúvel (g Kg⁻¹)</i>	<i>18,0</i>
<i>Fibra Insolúvel (g Kg⁻¹)</i>	<i>1,0</i>
<i>Fibra Alimentar Total (g Kg⁻¹)</i>	<i>19,0</i>
<i>Frutooligossacarídeos (FOS) (%)</i>	<i>17,22</i>

Fonte: Laboratório de Análise de Alimentos/Embrapa Agroindústria Tropical.

O conteúdo de FOS no xarope de yacon foi de 17,22% e devido esse conteúdo, as raízes de yacon tem sido alvo de pesquisas para fabricação de bebida (DIONÍSIO *et al.*, 2018), farinha (MACHADO *et al.*, 2019) e xarope (ADRIANO *et al.*, 2020), como consequência do seu potencial prebiótico como propriedade promotora da saúde. De acordo com a legislação vigente, “os frutooligossacarídeos – FOS contribuem para o equilíbrio da flora intestinal, e seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”. Quanto aos requisitos específicos, à ANVISA recomenda que essa alegação somente pode ser utilizada quando a porção do produto forneça, no mínimo, 2,5 g de FOS (ANVISA, 2019).

4.1.5 Análises microbiológicas

Na **Tabela 6** estão expressos os resultados das análises microbiológicas do xarope de yacon que foram comparados pela Resolução – RDC nº 12 de 02 de janeiro de 2001, item 17 e subitem f [xarope e preparado líquido para refresco que exige a contagem de 10 para coliformes termotolerantes (35°C)] (BRASIL, 2001). Os testes resultaram em ausência de coliformes totais, *Salmonella spp.* e *Staphylococcus spp.*, mostrando-se um produto seguro conforme os critérios de segurança microbiológica preconizados pela legislação brasileira (BRASIL, 2001). Em relação ao crescimento de bolores e levedura, observa-se baixas contagens, ou seja, não foi constatado crescimento acentuado, estando dentro da faixa aceitável estabelecida pelas normas em vigência.

Tabela 6 – Qualidade microbiológica de xarope de yacon. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

<i>Microorganismos</i>	<i>Xarope de Yacon</i>
<i>Coliformes totais (NMP mL⁻¹)</i>	< 3,0
<i>Salmonella spp.</i>	Ausência
<i>Staphylococcus spp. (UFC mL⁻¹)</i>	< 10
<i>Bolores e leveduras (UFC mL⁻¹)</i>	6,5 x 10 ¹

Fonte: Laboratório de Microbiologia/Embrapa Agroindústria Tropical.

A investigação microbiológica do xarope de yacon é relevante pois à ausência de microrganismos patogênicos indica que as práticas de produção, armazenamento, higiene e processamento das raízes de yacon garantiram a qualidade e a segurança alimentar. Além disso, os valores de composição (acidez, pH, atividade de água na **Tabela 2**) do produto foram favoráveis para ausência de contaminantes, tornando-o apropriado para aceitação do consumidor, conforme as características de identidade estabelecidas pelo regulamento em vigor.

4.2 Caracterização do revestimento de gelatina adicionado de xarope de yacon como fonte de FOS.

Neste tópico, serão apresentados e discutidos os resultados referentes à caracterização dos revestimentos de gelatina sem e com a adição do xarope de yacon, na forma de filmes.

4.2.1 Cor e Opacidade

As propriedades ópticas dos filmes de gelatina com e sem xarope de yacon estão apresentadas na **Tabela 7**, estas representam um fator de qualidade importante, pois influem na aparência de produtos alimentícios e, portanto, na aceitabilidade do consumidor (SYAHIDA *et al.*, 2020). Ambos os filmes, ainda que apresentassem diferença estatística, exibiram valores de luminosidade próximo de 100, notadamente, para o filme gelatina com xarope de yacon (96,33) que mostrou-se translúcido, podendo ser indicado para revestir frutos. Ainda, os filmes apresentaram valores negativos para o parâmetro a^* , o que significa que há uma tendência para a cor verde, todavia apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$). Com relação ao parâmetro b^* , tem-se que o filme de gelatina com xarope de yacon (2,61) resultou em coloração mais amarelada. Os valores de C indicaram que o filme de gelatina com o xarope de yacon apresenta maior saturação da cor que a gelatina. Para o ângulo Hue ou de matiz constatou-se que os filmes possuem a tonalidade amarela, visto que seus valores estão acima de 90° .

Tabela 7 – Cor (L^* , a^* , b^* , C e h) e opacidade dos filmes de gelatina com e sem xarope de yacon. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

Variáveis	Filmes		
	Gelatina	GXY**	CV (%)
Luminosidade (L^*)	96,85 ^a ± 0,02	96,33 ^b ± 0,02	0,02
Coordenada a^*	-0,04 ^b ± 0,01	-0,30 ^a ± 0,02	7,52
Coordenada b^*	0,84 ^b ± 0,02	2,61 ^a ± 0,16	6,69
Cromaticidade (C)	0,84 ^b ± 0,02	2,63 ^a ± 0,17	6,76
Ângulo hue (h)	92,93 ^b ± 0,35	96,61 ^a ± 0,06	0,27
Opacidade ($A \text{ nm mm}^{-1}$)	220,20 ^a ± 7,08	152,30 ^b ± 16,39	7,38

Fonte: Elaborada pelo autor.

**GXY: Gelatina + Xarope de yacon.

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem ao nível de $p \leq 0,05$ pelo teste de Tukey.

Os filmes de gelatina eram originalmente amarelos, pois a cor depende da fonte de extração obtido pela desnaturação térmica ou hidrólise parcial do colágeno presentes na pele, ossos e/ou tecido conjuntivo bovino (JONGJAREONRAK *et al.*, 2010; AYKIN-DINÇER *et*

al., 2017; TYUFTIN; KERRY, 2021). O filme de gelatina com adição do xarope de yacon possui uma coloração amarela mais intensa devido aos carotenoides, que são pigmentos com coloração do amarelo ao vermelho presentes no yacon, segundo PACHECO *et al.* (2020).

A opacidade do filme de gelatina com xarope de yacon foi menor ($152,30 \text{ A nm mm}^{-1}$) do que o filme só de gelatina ($220,20 \text{ A nm mm}^{-1}$), que mostrou-se opaco. Esses resultados indicam que adição do xarope causou mudanças na morfologia e estrutura cristalina do filme, podendo ser atribuídas a uma estrutura amorfa mais aberta que permitiria uma penetração profunda da luz no filme e, assim, a redução de sua opacidade (FAKHOURI *et al.*, 2015). Sendo assim, a maior transparência do filme de gelatina com xarope de yacon deve exercer uma menor influência nas características sensoriais visuais caso esses sejam usados para revestimento de frutos.

4.2.2 Espessura e propriedades que influenciam às relações hídricas

As características de espessura, permeabilidade ao vapor de água (P_{VA}), umidade e matéria insolúvel e ângulo de contato dos filmes de gelatina estão apresentadas na **Tabela 8**. A espessura foi significativamente ($p \leq 0,05$) maior no filme de gelatina incorporado xarope de yacon, comparado ao filme de gelatina, provavelmente porque a adição aumentou o conteúdo sólido como as fibras (**Tabela 5**) e macromoléculas (**Tabela 4**).

Ao produzir um filme biodegradável ativo à base de misturas de gelatina e amido de milho adicionada de polpa de guabiroba, MALHERBI *et al.* (2019) constataram que a espessura aumentava com o aumento da concentração da polpa e atribuíram às fibras, carboidratos e proteínas, que são polímeros de alta massa molecular que aumentam os sólidos na solução. SYAHIDA *et al.* (2020) ao avaliar um filme à base de gelatina de peixe incorporado com diferentes concentrações de cera de palma também observaram aumentos significativos na espessura, devido à interferência das partículas de cera no arranjo organizado das moléculas dos filmes.

A permeabilidade ao vapor de água (P_{VA}) foi maior no filme de gelatina com xarope de yacon ($2,11 \text{ g mm kPa}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$) podendo ser explicada pelo caráter hidrofílico do filme devido a interação entre as moléculas do polímero e do xarope de yacon que formam mais espaços vazios na interface proteína permitindo a permeação de vapor (RANGARAJ *et al.*, 2021). A permeabilidade ao vapor de água é um parâmetro crítico dos filmes comestíveis, que determina a eficiência da barreira à água dos filmes, onde os valores de P_{VA} devem ser baixos para evitar e/ou reduzir a transmissão do vapor de água entre os alimentos e o ambiente (ZHANG *et al.*, 2019; SUN *et al.*, 2020), e o valor de P_{VA} obtido para o filme de gelatina com xarope de yacon

é menor aos filmes de gelatina reportado por CIANNAMEA *et al.* (2018). OROZCO-PARRA *et al.* (2020) constataram aumento nos valores de P_{VA} de 268 para 270 $\text{g Pa}^{-1} \text{s}^{-1} \text{m}^{-1}$ com a adição de 0,5% de inulina dos filmes de amido de mandioca e justificaram pela alta solubilidade em água e natureza higroscópica da inulina.

A umidade do filme de gelatina com xarope de yacon foi reduzida para 8,49%. A combinação dos diferentes constituintes na formulação de filmes permite criar novos arranjos de redes tridimensionais e possivelmente, essas interações entre gelatina e o xarope de yacon, causaram uma diminuição nos grupos hidrofílicos disponíveis para se ligarem à água, restringindo a umidade (ZHANG *et al.*, 2019). O teor de matéria insolúvel de ambos os filmes não diferiu estatisticamente entre si ($P \leq 0,05$).

Tabela 8 – Espessura, permeabilidade ao vapor de água (P_{VA}), umidade e matéria insolúvel dos filmes de gelatina com e sem adição de xarope de yacon. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

Variáveis	Filmes		
	Gelatina	GXY**	CV (%)
Espessura (mm)	0,069 ^b ± 0,01	0,113 ^a ± 0,02	17,28
P_{VA} (g mm kPa ⁻¹ h ⁻¹ m ⁻²)	1,22 ^b ± 0,06	2,11 ^a ± 0,13	6,09
Umidade (%)	15,97 ^a ± 0,75	8,49 ^b ± 1,16	8,01
Matéria insolúvel (%)	0,12 ^a ± 0,05	0,22 ^a ± 0,10	44,62

Fonte: Elaborada pelo autor.

**GXY: Gelatina + Xarope de yacon.

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem ao nível de $p \leq 0,05$.

O ângulo de contato com a água é geralmente medido para avaliar a hidrofobicidade da superfície do filme, de modo que ângulos de contato superiores à 90° significam superfícies hidrofóbicas e inferiores à 90° indicam superfícies hidrofílicas (KALKAN *et al.*, 2020). Ambos os filmes, embora exibissem diferença estatística nos tempos de avaliação, apresentaram valores menores que 90°, indicando superfícies de caráter hidrofílicos (**Tabela 9**). Esse resultado pode ser relacionado ao caráter hidrofílico da gelatina e do xarope que apresentam grupos funcionais capazes de serem reorientados na superfície dos filmes, favorecendo uma maior hidrofobicidade. Para tanto, essa particularidade do filme incorporado com xarope de yacon é favorável para sua aplicação em frutos minimamente processados, visto que as coberturas hidrofílicas por terem afinidade por água, mantém por mais tempo o aspecto hidratado e brilhante dos frutos (ASSIS; BRITO, 2014).

Tabela 9 – Ângulo de contato dos filmes de gelatina com e sem adição de xarope de yacon. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

Ângulo de contato	Filmes		
	Gelatina	GXY**	CV (%)
0 segundos	79,20 ^a ± 3,16	67,40 ^b ± 0,61	3,10
30 segundos	75,20 ^a ± 4,69	64,43 ^b ± 4,46	4,77
60 segundos	62,63 ^a ± 6,48	73,13 ^a ± 1,10	6,85
90 segundos	72,13 ^a ± 6,59	58,83 ^b ± 1,99	7,43
120 segundos	71,87 ^a ± 8,30	58,60 ^a ± 1,51	9,14

Fonte: Elaborada pelo autor.

**GXY: Gelatina + Xarope de yacon.

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem ao nível de $p \leq 0,05$.

4.2.3 Ensaio mecânico

Os testes de tração medem a rigidez, resistência e flexibilidade de um filme indicando sua capacidade de manter a integridade estrutural durante todo o processo de produção e manuseio (SYAHIDA *et al.*, 2020), e os resultados para o filme de gelatina com e sem xarope de yacon estão apresentados na **Tabela 10**. A tensão de força máxima do filme de gelatina foi 82,71 Mpa, enquanto a adição do xarope de yacon reduziu a tensão máxima para 32,72 Mpa.

Tabela 10 – Ensaio mecânico dos filmes de gelatina com e sem adição de xarope de yacon. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

Variáveis	Filmes		
	Gelatina	GXY**	CV (%)
Tensão força máxima (Mpa)	82,71 ^a ± 1,54	32,72 ^b ± 3,18	4,34
Deformação específica ruptura (%)	6,96 ^b ± 2,17	12,98 ^a ± 4,41	34,86
Modo elástico (Mpa)	2788,74 ^a ± 66,01	1181,43 ^b ± 191,99	7,23

Fonte: Elaborada pelo autor.

**GXY: Gelatina + Xarope de yacon.

Médias com letras diferentes na mesma linha diferem ao nível de $p \leq 0,05$, pelo teste de Tukey.

O filme de gelatina exibe menor deformação à ruptura que o filme com o xarope de yacon, que apresenta maior deformação (12,98%). Os sólidos solúveis como açúcares, fibras e lipídios contidos no xarope do yacon (**Tabelas 4 e 5**) podem agir como plastificantes naturais, e segundo XU *et al.* (2019), interferem na matriz do filme impedindo a formação das pontes de hidrogênio, enfraquecendo as interações intermoleculares entre as cadeias poliméricas, aumentando o volume livre e a mobilidade da cadeia, resultando no aumento da flexibilidade do material.

O módulo elástico ou módulo de Young expressa a resistência à deformação elástica e quanto maior este, maior será a resistência à deformação e rigidez do material, ou seja, menor a flexibilidade. Os resultados mostram que o filme com xarope de yacon apresenta um menor módulo elástico (1181,43 Mpa) (**Tabela 10**), portanto, menor rigidez e maior flexibilidade que a gelatina, associado aos compostos presentes no xarope do yacon que podem atuar como plastificantes (**Tabelas 4 e 5**). Segundo GAO *et al.* (2017), dependendo do tipo e concentração, o plastificante diminui as forças intermoleculares e aumenta a mobilidade das cadeias poliméricas, dando ao biomaterial mais flexibilidade e menos rigidez e fragilidade.

As propriedades mecânicas das embalagens de alimentos são de grande interesse, pois afetam a integridade física da embalagem e, conseqüentemente, a conservação dos alimentos durante o armazenamento e comercialização (GHERIBI *et al.*, 2018). Conforme citado por HOSSEINI *et al.* (2015), a resistência à tração para filme de embalagem de alimentos deve ser maior que 3,5 Mpa, e a resistência à tração do filme gelatina incorporado do xarope de yacon foi superior aos biofilmes de gelatina encontrado por HEDAYATNIA *et al.* (2019), com resistência dos filmes variando entre 3,5 e 8,1 Mpa.

5 CONCLUSÕES

Conforme os resultados, conclui-se que o xarope de yacon é um ingrediente prebiótico que pode ser utilizado para o desenvolvimento e/ou enriquecimento de novos sistemas alimentares devido ao seu potencial bioativo como o teor de FOS, componentes com ação antioxidante, como fenólicos, além de minerais e outras características físico-químicas e microbiológicas desejáveis.

Mediante as características do xarope de yacon, sua adição à uma matriz gelatina com o objetivo de desenvolver um revestimento comestível resultou em um material com propriedades físicas e ópticas resistentes, além de apresentar permeabilidade ao vapor de água e propriedades mecânicas aos indicados para embalagens de alimentos, podendo ser testado em frutos *in natura* e/ou processados para contribuir para sua conservação pós-colheita e propriedades bioativas.

REFERÊNCIAS

ADRIANO, L. S.; DIONÍSIO, A. P.; ABREU, F. A. P. de; CARIOCA, A. A. F.; ZOCOLO, G. J.; WURLITZER, N. J.; PINTO, C. de O.; OLIVEIRA, A. C. de; SAMPAIO, H. A. de C. Yacon syrup reduces postprandial glycemic response to breakfast: A randomized, crossover, double-blind clinical trial. **Food Research International**, v. 126, 108682, 2019.

ADRIANO, L. S.; DIONÍSIO, A. P.; ABREU, F. A. P. de; WURLITZER, N. J.; MELO, B. R. C. de; CARIOCA, A. A. F.; SAMPAIO, H. A. de C. Acute postprandial effect of yacon syrup ingestion on appetite: A double blind randomized crossover clinical trial. **Food Research International**, v. 137, 109648, 2020.

ANDREWS, W. H.; JACOBSON, A.; HAMMACK, T. S. Salmonella. **In**: UNITED STATES FOOD DRUG ADMINISTRATION (Ed.). Bacteriological analytical manual online. 8th ed. Rockville: FDA, 2014. Chap. 5. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>. Acesso em: 10 jun. 2021.

ANKOM. Technology method 2: **rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction**. Macedon, 2009. p. 2.

ANVISA. **Alimentos com alegações de propriedades funcionais e/ou de saúde**. 2019. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/alegacoes-de-propriedade-funcionalaprovadas_anvisa.pdf. Acesso em: 10 agos. 2021.

AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis**. Gaithersburg, Maryland, 20 ed, 2016.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists International. Method 991.43. **In Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 18th ed., 3rd rev. Gaithersburg, MD, 2010.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International**, 18 ed., Gaithersburg: AOAC, pág. 1015, 2005.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 18th ed. Gaithersburg: AOAC, 2012.

AOCS - American Oil Chemists' Society. Official Method Am 5-04. Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. **Urbana: Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. 2005.

AOCS. **Official Methods and Recommended Practices of the AOCS**. 6th. ed. 2009.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. ed. 4, Washington, p. 476, 2001.

ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. de. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 87-97, 2014.

ASTM. (2000). **Standard test method for water vapor transmission of materials**. E96-00. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: American Society for Testing and Materials. p. 907-914.

ASTM. (2001). **Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting**. D882-01. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: American Society for Testing and Materials. p. 162-170.

AYKIN-DINÇER, E.; KOÇ, A.; ERBAS, M. Extraction and physicochemical characterization of broiler (*Gallus gallus domesticus*) skin gelatin compared to commercial bovine gelatin. **Poultry Science**, v. 96, p. 4124-4131, 2017.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.

BERSANETI, G. T.; GARCIA, S.; MALI, S.; CELLIGOI, M. A. P. C. Evaluation of the prebiotic activities of edible starch films with the addition of nystose from *Bacillus subtilis* natto. **LWT - Food Science and Technology**, v. 116, 108502, 2019.

BRASIL. **Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001**. Aprova regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2001.

ÇELİK, S. E.; ÖZYÜREK, M.; GÜÇLÜ, K.; APAK, R. Solvent effects on the antioxidant capacity of lipophilic and hydrophilic antioxidants measured by CUPRAC, ABTS/persulphate and FRAP methods. **Talanta**, v. 81, p. 1300–1309, 2010.

CIANNAMEA, E. M.; CASTILLO, L. A.; BARBOSA, S. E.; ANGELIS, M. G. de. Barrier properties and mechanical strength of bio-renewable, heat-sealable films based on gelatin, glycerol and soybean oil for sustainable food packaging. **Reactive and Functional Polymers**, v. 125, p. 29–36, 2018.

DIONÍSIO, A. P.; WURLITZER, N. J.; PINTO, C. O.; GOES, T. de S.; BORGES, M. DE F.; ARAÚJO, I. M. da S. Processamento e estabilidade de uma bebida de caju e yacon durante o armazenamento sob refrigeração. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2016189, 2018.

DIONÍSIO, A. P.; WURLITZER, N. J.; VIEIRA, N. M.; GOES, T. S.; MODESTO, A. L. G.; ARAUJO, I. M. S. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): Obtenção de extrato com manutenção das propriedades nutricionais e inativação de enzimas de escurecimento. Embrapa Agroindústria Tropical, **Comunicado Técnico 206**, Fortaleza – CE, p. 1-5, 2013.

FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; BUONTEMPO, R. C.; BILCK, A. P.; MEI, L. H. I. The effect of fatty acids on the physicochemical properties of edible films composed of gelatin and gluten proteins. **LWT - Food Science and Technology**, v. 87, p. 293-300, 2018.

FAKHOURI, F. M.; MARTELLIA, S. M.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; MEI, L. H. I. Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 109, p. 57–64, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GAO, H.; FANG, X.; CHEN, H.; QIN, Y.; XU, F.; JIN, T. Z. Physicochemical properties and food application of antimicrobial PLA film. **Food Control**, v. 73, p. 1522 – 1531, 2017.

GHERIBI, R.; PUCHOT, L.; VERGE, P.; JAOUED-GRAYAA, N.; MEZNI, M.; HABIBI, Y.; KHWALDIA, K. Development of plasticized edible films from *Opuntia ficus-indica* mucilage: A comparative study of various polyol plasticizers. **Carbohydrate Polymers**, v. 190, p. 204–211, 2018.

GIBSON, G. R.; HUTKINS, R.; SANDERS, M. E.; PRESCOTT, S. L.; REIMER, R. A.; SALMINEN, S. J.; REID, G. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, v. 14, p. 491 – 502, 2017.

HEDAYATNIA, S.; TAN, C. P.; KAM, W. L. J.; TAN, T. B.; MIRHOSSEINI, H. Modification of physicochemical and mechanical properties of a new biobased gelatin composite films through composition adjustment and instantizing process. **LWT - Food Science and Technology**, v. 116 108575, 2019.

HOSSEINI, S. F.; REZAEI, M.; ZANDI, M.; FARAHMANDGHAHI, F. Fabrication of bio-nanocomposite films based on fish gelatin reinforced with chitosan nanoparticles. **Food Hydrocolloids**, v. 44, p. 172-182, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ-IAL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 6. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

IRISSIN-MANGATA, J.; BAUDUIN, G.; BOUTEVIN, B.; GONTARD, N. New plasticizers for wheat gluten films. **European Polymer Journal**, v. 37, p. 1533 – 1541, 2001.

JAISSWAL, R.; DESHPANDE, S.; KUHNERT, N. Profiling the chlorogenic acids of *Rudbeckia hirta*, *Helianthus tuberosus*, *Carlina acaulis* and *Symphytotrichum novae-angliae* leaves by LC-MSⁿ. **Phytochemical Analysis**, v. 22, p. 432-441, 2011.

JONGJAREONRAK, A.; RAWDKUEN, S.; CHAIJAN, M.; BENJAKUL, S.; OSAKO, K.; TANAKA, M. Chemical compositions and characterisation of skin gelatin from farmed giant catfish (*Pangasianodon gigas*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, p. 161- 165, 2010.

KALKAN, S.; OTAĞ, M. R.; ENGIN, M. S. Physicochemical and bioactive properties of edible methylcellulose films containing *Rheum ribes* L. extract. **Food Chemistry**, v. 307, 125524, 2020.

- LACHMAN, J.; HAVRLAND, B.; HEJTMÁNKOVÁ, A.; FERNANDEZ, E. C.; PIVEC, V. Teor de antioxidantes polifenólicos e ácidos fenólicos em partes selecionadas de yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] **Scientia Agriculturae Bohemica**, v. 36, p. 49 – 54, 2005.
- LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURACALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 4, p.1390- 1393, 1997.
- MACHADO, A. M.; SILVA, N. B. M. DA; CHAVES, J. B. P.; ALFENAS, R. DE C. G. Consumption of yacon flour improves body composition and intestinal function in overweight adults: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. **Clinical Nutrition ESPEN**, v. 29, p. 22 – 29, 2019.
- MALHERBI, N. M.; SCHMITZ, A. C.; GRANDO, R. C.; BILCK, A. P.; YAMASHITA, F.; TORMEN, L.; FAKHOURI, F. M.; VELASCO, J. I.; BERTAN, L. C. Corn starch and gelatin-based films added with guabiroba pulp for application in food packaging. **Food Packaging and Shelf Life**. v. 19, p. 140–146, 2019.
- MAQSOOD, S.; ADIAMO, O.; AHMAD, M.; MUDGIL, P. Bioactive compounds from date fruit and seed as potential nutraceutical and functional food ingredients. **Food Chemistry**, v. 308, 125522, 2020.
- MARTINO, H. S. D.; KOLBA, N.; TAKO, E. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour soluble extract improve intestinal bacterial populations, brush border membrane functionality and morphology in vivo (*Gallus gallus*). **Food Research International**, v. 137, 109705, 2020.
- MENDES, A. H. L.; DIONÍSIO, A. P.; MOUTA, C. F. H.; ABREU, F. A. P.; PINTO, C. O.; GARRUTI, D. S.; ARAÚJO, I. M. Sensory acceptance and characterization of yoghurt supplemented with yacon syrup and cashew apple extract as a source of bioactive compounds. **Brazilian Journal of Food Technology**, 22, e2018153, 2019.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J. (2009). Análise química de tecido vegetal. In: Silva, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. rev. e ampl. Brasília, 191–234.
- MONTEIRO, C. S.; BALBI, M. E.; MIGUEL, O. G.; PENTEADO, P. T. P. S.; HARACEMIV, S. M. C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “Tipo Italiano”. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v.19, n.1, p. 25-31, 2008.
- MORETTO, E. **Introdução à ciência de alimentos**. 2.ed. Ampliada e revisada. Florianópolis: Editora da UFSC, 2008.
- NENADIS, N.; WANG, L.F.; TSIMIDOU, M. ZHANG, H.Y. Estimation of scavenging activity of phenolic compounds using the ABTS⁺ assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.52, p.4669-4674, 2004.

OBANDA, M.; OWUOR, P.O. Flavanol Composition and Caffeine Content of Green Leaf as Quality Potential Indicators of Kenyan Black Teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.74, p.209-215, 1997.

OROZCO-PARRA, J.; MEJÍA, C. M.; VILLA, C. C. Development of a bioactive synbiotic edible film based on cassava starch, inulin, and *Lactobacillus casei*. **Food Hydrocolloids**, v. 104, 105754, 2020.

PACHECO, M. T.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, O.; MORENO, F. J.; VILLAMIEL, M. Andean tubers grown in Ecuador: New sources of functional ingredients. **Food Bioscience**, v. 35, 10060, 2020.

PENA-SERNA, C.; LOPES-FILHO, J. F. Influence of ethanol and glycerol concentration over functional and structural properties of zeineoleic acid films. **Materials Chemistry and Physics**, p. 580-585, July 2013.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3396–3402, 2000.

RANGARAJ, V. M.; RAMBABU, K.; BANAT, F.; MITTAL, V. Effect of date fruit waste extract as an antioxidant additive on the properties of active gelatin films. **Food Chemistry**, v. 355, 129631, 2021.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, [S. l.], v. 26, n. 9– 10, p. 1231–1237, 1999.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; JIMÉNEZ, J. P.; CALIXTO, F. S. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, London, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J. SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS⁺. **Comunicado Técnico 128**, Fortaleza. Embrapa Agroindústria Tropical. 2007.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela pelo método de Redução do Ferro (FRAP). **Comunicado Técnico 127**, Fortaleza. Embrapa Agroindústria Tropical. 2006.

SALGADO, P. R.; ORTIZ, C. M.; MUSSO, Y. S.; DI GIORGIO, L.; MAURI, A. N. Edible films and coatings containing bioactives. **Current Opinion in Food Science**, v. 5, p.86 – 92, 2015.

SANTANA-GÁLVEZ, J.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; JACOBO-VELÁZQUEZ, D.A. Chlorogenic Acid: Recent Advances on Its Dual Role as a Food Additive and a Nutraceutical against Metabolic Syndrome. **Molecules**, v. 22, 358, 2017.

SILVA, M. de F. G. da; DIONÍSIO, A. P.; ABREU, F. A. PINTO de; BRITO, E. S. de; WURLITZER, N. J.; SILVA, L. M. A. e; RIBEIRO, P. R. V.; RODRIGUES, S.; TANIGUCHI, C. A. K.; PONTES D. F. Evaluation of nutritional and chemical composition of yacon syrup using ^1H NMR and UPLC-ESI-Q-TOF-MS^E. **Food Chemistry**, v. 245, p. 1239–1247, 2018.

SILVA, M. de F. G. da; DIONÍSIO, A. P.; CARIOCA, A. A. F.; ADRIANO, L. S.; PINTO, C. O.; ABREU, F. A. PINTO de; WURLITZER, N. J.; ARAÚJO, I. M.; GARRUTI, D. dos S.; PONTES, D. F. Yacon syrup: Food applications and impact on satiety in healthy volunteers. **Food Research International**, v. 100, p. 460–467, 2017.

SUN, H., LI, S.; CHEN, S.; WANG, C.; LIU, D.; LI, X. Antibacterial and antioxidant activities of sodium starch octenylsuccinate-based Pickering emulsion films incorporated with cinnamon essential oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 159, p.: 696-703, 2020.

SYAHIDA, S. N.; ISMAIL-FITRY, M. R.; AINUN, Z. M. A.; HANANI, Z. A. N. Effects of palm wax on the physical, mechanical and water barrier properties of fish gelatin films for food packaging application. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 23, 100437, 2020.

TYUFTIN, A. A; KERRY, J. P. Gelatin films: Study review of barrier properties and implications for future studies employing biopolymer films. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 29, 100688, 2021.

UPADHYAY, R.; MOHAN RAO, L. J. **An outlook on chlorogenic acids-occurrence, chemistry, technology, and biological activities** Crit. Rev. Food Sci. Nutr.,v. 53, n.9, p. 968-984, 2013.

XIN, Q.; YUAN, Z.; YU, Z.; GUO-HUI, L.; XUE-SONG, F. Progress in pretreatment and analysis of organic Acids: An update since 2010. **Food Chemistry**, v. 360, 129977, 2021.

XU, J.; XIA, R.; YUAN, T.; SUN, R. Use of xylooligosaccharides (XOS) in hemicelluloses/chitosan-based films reinforced by cellulose nanofiber: Effect on physicochemical properties. **Food Chemistry**, v. 298, 125041, 2019.

YEMN, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, v. 57, p. 508-514, 1954.

YOUSUF, B.; QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 89, p. 198–209, 2018.

ZHANG, X.; MA, L.; YU, Y.; ZHOU, H.; GUO, T.; DAI, H.; ZHANG, Y. Physico-mechanical and antioxidant properties of gelatin film from rabbit skin incorporated with rosemary acid. **Food Packaging and Shelf Life**, v.19, p. 121–130, 2019.

6 CAPÍTULO III – APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COM POTENCIAL PREBIÓTICO E ANTIOXIDANTE EM MELÃO MINIMAMENTE PROCESSADO

RESUMO

As embalagens comestíveis e biodegradáveis se caracterizam como uma ferramenta promissora e versátil para veicular ingredientes ativos, conservar e manter a qualidade de frutos minimamente processados. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de gelatina bovina enriquecido com xarope de yacon na conservação e qualidade do melão processado. Os melões cantaloupe foram processados em cubos, submetidos ao tratamento controle (sem revestimento) e com revestimento à base de gelatina com xarope de yacon, armazenados a 10 °C e analisados por sete dias (T0 até T6). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2×7, com três repetições, totalizando 42 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por uma bandeja com oito cubos, cada. As avaliações foram realizadas quanto à qualidade, potencial antioxidante, integridade estrutural dos tecidos, análise microbiológica e compostos voláteis, submetidos a análise de variância, teste de Tukey 5% de probabilidade e metaboanalyst 5.0. À aplicação do revestimento de gelatina adicionado de xarope de yacon como fonte de FOS em melões minimamente processados revestidos apresentaram elevado poder antioxidante, devido ao aumento dos conteúdos de fenólicos totais, carotenoides e flavonoides. Propiciou a manutenção da qualidade físico-química e da integridade estrutural dos frutos revestidos sob armazenamento refrigerado, porém não impediu o crescimento de microrganismos. Os compostos aromáticos dos frutos controle aumentaram, enquanto os frutos revestidos apresentaram menor concentração associado ao efeito do revestimento no amadurecimento. Assim, conclui-se que o revestimento sugerido incrementou as propriedades funcionais dos melões processados que mantiveram sua qualidade por até 5 dias, a 10 °C.

Palavras-chave: *Cucumis melo* L.; alimento funcional; embalagem ativa; processamento mínimo.

ABSTRACT

Edible and biodegradable packaging is characterized as a promising and versatile tool for conveying active ingredients, preserving and maintaining the quality of minimally processed fruits. The objective of this research was to evaluate the effect of the application of bovine gelatin enriched with yacon syrup on the conservation and quality of processed melon. The cantaloupe melons were processed into cubes, subjected to a control treatment (without coating) and with a gelatin-based coating with yacon syrup, stored at 10 °C and analyzed for seven days (T0 to T6). The experiment was carried out in a completely randomized design in a 2×7 factorial scheme, with three replications, totaling 42 experimental units. Each experimental unit consisted of a tray with eight cubes each. The evaluations were carried out for quality, antioxidant potential, tissue structural integrity, microbiological analysis and volatile compounds, submitted to analysis of variance, Tukey's test 5% probability and metaboanalyst 5.0. The application of gelatin coating added with yacon syrup as a source of FOS in minimally processed coated melons showed high antioxidant power, due to the increase in the contents of total phenolic, carotenoids and flavonoids. It allowed the maintenance of the physicochemical quality and the structural integrity of the coated fruits under refrigerated storage, but it did not prevent the growth of microorganisms. The aromatic compounds of the control fruits increased, while the coated fruits had a lower concentration associated with the coating effect on ripening. Thus, it is concluded that the suggested coating increased the functional properties of processed melons that maintained their quality for up to 5 days at 10 °C.

Keywords: *Cucumis melo* L; functional food; active packaging; minimal processing.

6.1 INTRODUÇÃO

Os frutos e hortaliças são componentes fundamentais na dieta alimentar, pelo elevado conteúdo de vitaminas, minerais, fibras e compostos antioxidantes que reduzem a ocorrência de doenças. O consumo desses alimentos, apresentados sob diversas formas, tem aumentado substancialmente devido à relação direta entre nutrição e saúde, ou bem-estar físico e mental do indivíduo.

O melão é um fruto muito apreciado em todo o mundo devido as suas características sensoriais atrativas. Portanto, o meloeiro é uma espécie amplamente cultivada, onde a produção total, em 2019, foi superior a 27 milhões de toneladas (FAO, 2021). No Brasil, a região Nordeste é a principal produtora, com ênfase ao polo Jaguaribe-Açu situado entre o Ceará e Rio Grande do Norte, sendo a maior parte da produção destinada ao mercado externo. Em 2020, foram exportados mais de 236 mil toneladas de frutos, totalizando em aproximadamente US\$ 148 milhões. As exportações do melão cultivados no Brasil foram destinados aos Países Baixos (83 mil toneladas), Espanha (66 mil toneladas), Reino Unido (59 mil toneladas), Itália e Canadá (KIST *et al.*, 2021). O melão tem como inconveniente seu tamanho relativamente grande, porém como apresenta excelentes atributos sensoriais, e, este é propício ao mercado de alimentos minimamente processados.

O mercado de produtos minimamente processados (PMP) vem crescendo significativamente ao longo dos anos, em razão da versatilidade, praticidade e composição química (YOUSUF *et al.*, 2020). Contudo, os alimentos processados são altamente perecíveis devido ao estresse mecânico que o tecido vegetal é acometido, mudanças químicas, enzimáticas e microbianas, que alteram os atributos de cor, textura e *flavour* e reduzem a vida útil do alimento, provocando consideráveis perdas econômicas pós-colheita. Por isso, muitas vezes, métodos de conservação pós-colheita são utilizados para a manutenção dos atributos sensoriais e aumento do período de conservação dos produtos hortícolas minimamente processados (VELDERRAIN-RODRÍGUEZ *et al.*, 2019).

Nesse aspecto, os revestimentos comestíveis têm-se destacado nos últimos tempos, como tecnologia pós-colheita para a proteção e extensão da vida de útil dos alimentos frescos, considerada pelo setor de minimamente processados como estratégia simples, viável e inovadora para reduzir os efeitos ocasionados pelo processamento (YOUSUF *et al.*, 2021). Segundo NCAMA *et al.* (2018), as embalagens trazem baixo impacto sobre as características sensoriais (cor, brilho, sabor, aroma), além de funcionarem como uma barreira protetora contra perda de umidade, solutos, evitar as trocas gasosas, e retardar o crescimento microbiano. Assim sendo, pesquisas investigam o uso pós-colheita de revestimentos comestíveis em frutos

minimamente processados para manter a qualidade, ampliar a vida útil e, adicionar propriedades benéficas à saúde (BAMBACE *et al.*, 2019; ALVAREZ *et al.*, 2021).

Entre os polímeros naturais utilizados para a formulação de revestimentos, a gelatina obtida pela hidrólise do colágeno de animais terrestres e/ou aquáticos (SAHOO *et al.*, 2015), são extensivamente estudadas por sua capacidade de formar filme para proteger os alimentos da exposição ao oxigênio e luz (RASID *et al.*, 2018). Além disso, têm grande potencial para transportar substâncias como os agentes antioxidantes e antimicrobianos, sem alterações no perfil sensorial (DEHGHANI *et al.*, 2018).

Nesse contexto, os frutooligossacarídeos (FOS) podem ser veiculados nas matrizes poliméricas dos revestimentos como ingrediente funcional, pois são caracterizados como prebióticos por conferirem benefícios à saúde (CHEN; KARBOUNE, 2019). O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma espécie vegetal cuja raiz é reconhecida como fonte abundante de FOS, podendo ser extraído e concentrado na forma de um xarope (xarope de yacon) e, utilizado como ingrediente para aplicação em diferentes matrizes alimentares.

Portanto, este estudo tem por objetivo averiguar a influência do revestimento comestível à base de gelatina bovina enriquecido com xarope de yacon como fonte de FOS, sobre os atributos de qualidade, potencial antioxidante e de integridade estrutural do melão minimamente processado.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 MATERIAL

Os melões do tipo comercial cantaloupe, variedade *reticulatus* foram obtidos em comércio local de Fortaleza - CE, selecionados quanto à uniformidade do estágio de maturação, tamanho e ausência de sinais de deterioração e depois, transportados ao Laboratório de Processos Agroindustriais da Embrapa Agroindústria Tropical onde procedeu-se a higienização e o processamento mínimo. O revestimento comestível foi preparado com gelatina bovina comercial (Bloom valor 226, PB Leiner Brasil, Acorizal, Brasil), e xarope de yacon obtido a partir do processamento das raízes em escala laboratorial conforme metodologia descrita por DIONÍSIO *et al.* (2013).

6.2.2 MÉTODOS

6.2.2.1 Processamento mínimo

O processamento foi realizado em câmara fria (14 °C), sendo o ambiente e utensílios previamente lavados e sanitizados por 20 minutos em água clorada (200 µL L⁻¹ de hipoclorito de sódio em água). Os operadores estavam protegidos com luvas de látex, aventais, gorros e máscaras, para evitar possíveis contaminações durante o processamento.

O processamento dos melões seguiu metodologia proposta por BASTOS (2006), descrita abaixo: os frutos foram lavados em água corrente e detergente neutro para remover resíduos aderidos na superfície e reduzir a carga microbiana, depois sanitizados por 20 minutos em água clorada (200 µL L⁻¹) e então, descascados, de acordo com as etapas: corte das extremidades, corte transversal dividindo o fruto em metades equivalentes, retirada das sementes e cortes em cubos (± 50 g).

6.2.2.2 Preparação e aplicação do revestimento

A solução de gelatina foi preparada conforme FAKHOURI *et al.* (2018), utilizando 10 g de gelatina bovina em pó hidratada em água destilada (100 mL) por 1 hora em temperatura ambiente. Após esse período, a mistura foi aquecida a 70 °C em banho-Maria até à completa dissolução, durante 10 minutos. O glicerol foi adicionado (1:0,05 p p⁻¹) para melhorar as propriedades de barreira ao vapor d'água e outras propriedades funcionais do revestimento, e então, 10% de xarope de yacon (17,22% de FOS) foi adicionado sob agitação magnética, em seguida a solução foi desgaseificada em rotaevaporador (Fisatom, modelo 803) para remover

bolhas de ar e, então, aplicada nos frutos. Na **Tabela 11**, está descrita a composição do xarope de yacon.

Tabela 11 – Composição do xarope de yacon. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

<i>Constituintes</i>	<i>Conteúdo / Teor</i>
<i>Sólidos solúveis totais (%)</i>	<i>60,88</i>
<i>Açúcares totais (°Brix)</i>	<i>70,7</i>
<i>Polifenóis (μg ácido gálico Kg^{-1})</i>	<i>13.897,2</i>
<i>Ácido clorogênico (μg Kg^{-1})</i>	<i>2.148,1</i>
<i>ABTS (μM trolox Kg^{-1})</i>	<i>9.430,00</i>
<i>FRAP (μM F_2SO_4 Kg^{-1})</i>	<i>33.050,00</i>
<i>Fibra solúvel (g Kg^{-1})</i>	<i>18,0</i>
<i>Fibra insolúvel (g Kg^{-1})</i>	<i>1,0</i>
<i>Fibra alimentar total (g Kg^{-1})</i>	<i>19,0</i>
<i>Frutooligossacarídeos (FOS) (%)</i>	<i>17,22</i>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os cubos de melão foram divididos igualmente, sendo metade submetida ao tratamento com revestimento de gelatina com xarope de yacon (GXY), enquanto o controle não recebeu revestimento. Os cubos revestidos foram imersos por 3 minutos na solução GXY e drenados por 2 minutos para retirada do excesso. Todos os cubos foram dispostos em bandejas de polietileno tereftalato (PET) em número de oito (aproximadamente 150 – 250 gramas) as quais foram envoltas com filme de PVC (MWRAP[®]), sendo então, acondicionados à 10 °C. Os melões minimamente processados foram avaliados no dia do processamento (T0) e diariamente por 6 dias (T6) quanto à qualidade físico-química e o potencial antioxidante. A estrutura dos tecidos foi avaliada nos tempos T0, T2, T4 e T6 dias, a qualidade microbiológica foi avaliada no tempo inicial (T0) e ao final (T6) do armazenamento, e os compostos orgânicos voláteis avaliado no T0 e T5 do armazenamento.

6.2.2.3 Qualidade pós-colheita

6.2.2.3.1 Perda de massa

Determinada por gravimetria, por meio da pesagem dos frutos em balança semianalítica, marca TECNAL, modelo Mark 1.300, considerando-se a diferença entre a massa inicial e a final dividida pela massa inicial, após cada período de armazenamento, e posteriormente transformada em porcentagem (%), utilizando-se a equação:

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

6.2.2.3.2 *Cor instrumental*

As alterações na coloração superficial dos frutos foram acompanhadas por um colorímetro Konica Minolta (CR-300 com uma fonte de luz D65, Japão), calibrado em superfície de porcelana branca. Para maior representatividade da unidade experimental, foram efetuadas três leituras dos parâmetros do sistema CIELAB: L* (Luminosidade), a* (cromaticidade no eixo da cor verde para vermelha), b* (cromaticidade no eixo da cor azul para amarelo).

6.2.2.3.3 *Sólidos solúveis totais (SST)*

Medido de acordo com a AOAC (2016), a partir da leitura direta utilizando refratômetro digital portátil (Atago Modelo Pocket PAL-3, Tóquio, Japão, escala de 0-93%) com compensação automática de temperatura. Os resultados foram expressos em °Brix.

6.2.2.3.4 *Acidez total titulavel (AT)*

Foi determinada utilizando a técnica titulométrica com solução de NaOH 0,1 M segundo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008). Foi pesado 1 g da polpa processada e adicionado 50 mL de água destilada. A fenolftaleína alcoólica a 1% foi utilizada como indicador e, uma solução de NaOH 0,1 M foi adicionada lentamente até a mudança de cor para levemente róseo. O resultado foi expresso em percentagem (%) de ácido cítrico.

6.2.2.3.5 *Potencial hidrogeniônico (pH)*

Mensurado a partir da imersão direta do eletrodo na polpa processada usando um pHmetro digital (Mettler Toletto, modelo F20, Ohio, EUA) com ajuste automático de temperatura.

6.2.2.4 *Integridade estrutural dos tecidos*

6.2.2.4.1 *Microscopia óptica*

Para à análise histológica, foram avaliados os cubos nos tempos de armazenamento 0, 2, 4 e 6 dias. Inicialmente, as amostras foram seccionadas em pedaços e fixadas em tampão fosfato de sódio 0,02 M pH 7,2 com glutaraldeído 1% (v/v) e paraformaldeído 4% (v/v)

(KARNOVSKY, 1965). Posteriormente, desidratadas em série etanólica crescente (10 a 95%), e colocadas na resina de pré-infiltração, depois na infiltração e incluídas em Histoiresina (Marca Leica). Após, conforme o tratamento proposto, as amostras foram cortadas em micrótomo semiautomático (Slee Mainz CUT® 5062, Alemanha) e, então, coradas com azul de Toluidina 0,025% para radicais iônicos (MCILVAINE, 1921) e submetidas a reação do PAS (Periodic Acid Schiff) para polissacarídeos neutros (MCMANUS, 1948). As imagens foram realizadas em microscópio de luz (Modelo BX41, Olympus Optical) acoplado a uma câmera digital (Olympus Modelo UC30) e um computador, utilizando o software “Olympus cellSens®”.

6.2.2.4.2 *Microscopia eletrônica de varredura (MEV)*

As análises por microscopia eletrônica de varredura foram feitas nos cubos nos tempos de armazenamento 0, 2, 4 e 6 dias. As amostras foram, inicialmente, seccionadas em pedaços e pré-fixadas em tampão fosfato de sódio 0,02 M pH 7,2 com glutaraldeído 1% (v/v) e paraformaldeído 4% (KARNOVSKY, 1965). Posteriormente, as amostras foram desidratadas em uma série etanólica crescente (10 a 95%), e levadas ao aparelho de secagem Ponto Crítico (Emitech K850), montadas em “stubs” e metalizadas em prata (Metalizadora Quorum Q150T ES), e em seguida realizada a digitalização em microscópio modelo Quanta 450 FEG-FEI com variação de aumento (100 µm), no setor de microscopia eletrônica da Central Analítica da Universidade Federal do Ceará (UFC).

6.2.2.5 *Potencial antioxidante*

Para a determinação do conteúdo de polifenóis extraíveis totais e da atividade antioxidante total foi preparado um extrato conforme metodologia descrita por LARRAURI *et al.* (1997) adaptada por RUFINO *et al.* (2010).

Para obtenção do extrato, 5 g da polpa com e sem revestimento foram homogeneizadas em 4 mL de metanol 50%, e mantidas em repouso por 60 minutos. Após, as misturas foram centrifugadas a 15.000 rpm por 15 minutos a 26 °C. Por conseguinte, o sobrenadante foi filtrado em balão volumétrico (10 mL) e o precipitado ressuspensão em 4 mL de acetona 70%, repetindo-se todo o processo de homogeneização e repouso. Em seguida, novamente centrifugadas nas mesmas condições citadas anteriormente. O sobrenadante foi filtrado e adicionado ao primeiro em balão volumétrico (10 mL), completando-se o volume do extrato com água destilada conforme metodologia de LARRAURI *et al.* (1997).

6.2.2.5.1 Determinação de polifenóis extraíveis totais (PET)

A determinação do conteúdo de PET foi realizada utilizando método de Folin-Ciocalteu, de acordo com OBANDA; OWUOR (1997) com modificações. Em microtubos, foram adicionados 250 µL do extrato diluído (1:1), 250 µL do reagente Folin-Ciocalteu (1:3), 500 µL de carbonato de sódio anidro (20%) e 500 µL de água destilada, posteriormente, homogeneizados em agitador do tipo vórtex. As leituras foram realizadas em leitor de microplaca (Synergyx Mx, Biotek, Estados Unidos) à 700 nm, após 30 min. de reação. O conteúdo de PET foi calculado a partir de uma curva padrão de ácido gálico (0-50 µg) e os resultados expressos em mg Kg⁻¹ massa fresca (MF).

6.2.2.5.2 Flavonoides amarelos

O conteúdo de flavonoides amarelos foi determinado seguindo a metodologia descrita por FRANCIS (1982). A polpa (4,0 g) foi suspensa em 5 mL de etanol-HCl 1,5 N, na proporção 85:15, homogeneizada em almofariz por 2 minutos e transferida para um balão volumétrico âmbar de 10 mL, aferindo-se o volume com a solução extratora. O conteúdo do balão foi acondicionado em frasco âmbar e deixado descansar por 12 horas a 4 °C, protegido da luz. Em seguida, o material foi centrifugado a 4 °C a 3.000 x g por 10 minutos e, então, filtrado. A absorbância foi monitorada a 374 nm, de modo que o conteúdo de flavonoides amarelos foi calculado utilizando o coeficiente de extinção molar ($\epsilon = 76,6 \text{ L mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) e os resultados expressos em mg Kg⁻¹ MF.

6.2.2.5.3 Carotenoides totais

A determinação de carotenoides totais foi realizada utilizando o método descrito por LICHTENTHALER (1987), baseado no conteúdo de clorofila total. Cada amostra (1 g) foi macerada por 1 minuto em banho de gelo, com 0,1 g de carbonato de cálcio (CaCO₃) e 5mL de acetona (80%) gelada. Após, foi realizada centrifugação a 10 °C a 3.000 x g por 10 minutos e, então, filtradas. As absorbâncias foram mensuradas 663 nm, 646 nm e 470 nm, e com base nas equações abaixo descritas, determinou-se o conteúdo de carotenoides. Todo o processo de extração e ensaio analítico foi conduzido em ambiente sob ausência de luz. Os resultados foram expressos em mg Kg⁻¹ MF.

$$\text{Clorofila a (mg mL)} = 12,25 \times (A663) - 2,81 \times (A646)$$

$$\text{Clorofila b (mg mL)} = 20,31 \times (A646) - 2,81 \times (A663)$$

$$\text{Carotenóides (mg mL)} = 1000 - (A470) - 1,82 - [\text{clorofila a}] - (85,02 \times [\text{clorofila b}])/198$$

6.2.2.5.4 Determinação da atividade antioxidante total (AAT)

A determinação da AAT foi realizada pelo método ABTS (ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolino-6-sulfônico)) segundo metodologia descrita por RE *et al.* (1999), seguindo as modificações de RUFINO *et al.* (2007). O radical ABTS foi preparado a partir da reação entre 5 mL da solução estoque de ABTS (7 mM) com 88 µL da solução de persulfato de potássio (140 mM) na ausência de luz. Após 16 horas de reação, aproximadamente 1 mL do radical foi diluído em álcool etílico P.A até obtenção de absorvância de $0,700 \pm 0,02$ nm a 734 nm.

A partir do extrato elaborado, preparou-se três diferentes diluições. Em tubos de ensaio foram adicionados 250 µL do extrato e 2780 µL do radical ABTS (com absorvância previamente ajustada $0,700 \pm 0,05$ nm). Após 6 minutos foram realizadas as leituras das absorvâncias em espectrofotômetro a 734 nm. O cálculo da atividade antioxidante total foi obtido a partir da curva padrão de Trolox (100 - 2.000 µM) e os resultados expressos em µM Kg⁻¹ MF.

6.2.2.6 Análises microbiológicas

A qualidade microbiológica dos melões minimamente processados foi avaliada pela contagem de total microrganismos de coliformes totais, presença de *Salmonella* spp., mesófilos, fungos filamentosos e leveduras, conforme a metodologia descrita no manual Bacteriological Analytical Manual do FDA-EUA (APHA, 2001; ANDREWS *et al.*, 2014). Os resultados foram expressos como NMP g⁻¹ para coliformes totais, ausência para *Salmonella* spp., e UFC g⁻¹ para mesófilos, fungos filamentosos e leveduras.

6.2.2.7 Análise de compostos orgânicos voláteis

A análise de compostos orgânicos voláteis foi realizada na polpa processada com e sem revestimento nos tempos de armazenamento 0 e 5 dias. Para isso, foram pesados 3 g de amostra e dentro de um frasco de 20 mL, e foram adicionados 3 mL de cloreto de sódio P.A (30% l/l), 50 µL do padrão interno 2-octanol (40 ppm). Em seguida, os compostos voláteis foram isolados da matriz por microextração de headspace em fase sólida (HS-SPME), utilizando fibra DVB / CAR / PDMS 50/30 µm 2 cm (Supelco, Bellefonte, PA, EUA). Antes das análises, a fibra foi condicionada de acordo com a temperatura recomendada pelo fabricante. A análise GC-MS foi realizada usando um Agilent modelo 7890B, equipado com detector de espectrômetro de massa, modelo 5977A. A coluna cromatográfica empregada foi RTX 5 (tamanho de 30 m, diâmetro interno de 0,25 mm, espessura de filme de 0,25 µm). O programa de temperatura utilizado foi: temperatura inicial de 45 °C mantida por 5 minutos, rampa de 10 °C/min de 45 °C a 80 °C, 5

°C/min de 80 °C a 240 °C, 5 °C/min de 240 °C a 260 °C, permanecendo por 5 minutos. A temperatura da interface entre o cromatógrafo e o detector seletivo de massa foi de 250 °C e a ionização foi feita por impacto de elétrons (70 eV) com a fonte de íons mantida a 150 °C.

6.2.3 *Delineamento experimental e análise estatística*

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 7, correspondente a dois tratamentos: controle (sem revestimento) e revestido com gelatina + xarope de yacon (GXY) ao longo de diferentes tempos de armazenamento (T0 até T6) com três repetições em cada tempo para cada tratamento. Cada repetição consistia de uma bandeja contendo oito cubos de melão (aproximadamente 150 – 250 gramas). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) realizada com auxílio do software SISVAR versão 5.6, e para a comparação das médias utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade (FERREIRA, 2011).

O metaboanalyst 5.0 (<https://www.metaboanalyst.ca/home.xhtml>) (PANG *et al.*, 2021) foi utilizado para o tratamento estatístico e obtenção dos gráficos dos compostos voláteis. Os dados das áreas dos picos dos compostos voláteis, obtidos por meio dos cromatogramas, foram normalizados pelo padrão interno (2-octanol), tratados na escala logarítmica e escalonados de acordo com a escala de Pareto. A partir das matrizes de correlação de dados normalizados, foram obtidos os gráficos de mapa de calor (Heatmap) e boxplot.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Qualidade pós-colheita

O revestimento de gelatina adicionado de xarope de yacon reduziu a perda de massa dos frutos de melão minimamente processado durante os seis dias de armazenamento a 10 °C (**Tabela 12**), de modo que no T6, às amostras controle perderam em média 6,23% de massa e as revestidas, 5,48%. A menor perda de massa dos frutos revestidos indica que o revestimento atuou como barreira à O₂, CO₂ e umidade, possivelmente impactando processos como respiração e perda de água por evaporação. TEMIZ; ÖZDEMİR (2021) ao avaliarem morangos revestidos com gelatina enriquecida com inulina e probiótico (*Lactobacillus rhamnosus*), observaram que os frutos sem revestimento perderam 38% de massa, enquanto os frutos revestidos com gelatina, gelatina-probiótica e gelatina-inulina-probiótico apresentaram menor perda de massa de 24,7%, 17,6% e 21,3%, respectivamente, devido a redução da evaporação de água e da taxa de respiração que reduziram a perecibilidade dos morangos.

Os parâmetros de cor dos melões processados estão apresentados na **Tabela 12**. A luminosidade (L) de uma amostra varia de 0 (totalmente escura) à 100 (totalmente clara) e os resultados obtidos mostraram que durante o período de armazenamento, a luminosidade do frutos permaneceu estável, porém no T6, o revestimento resultou em menor L, 59,36. A luminosidade dos frutos revestidos pode ter sido influenciada pela solução de revestimento amarelada devido a presença de carotenoides presentes no xarope de yacon (PACHECO *et al.*, 2020), o que pode ter causado modificações nas propriedades de reflexão da superfície. Os valores de a* (coloração do vermelho ao verde) se mantiveram constante durante o armazenamento e decaíram no T6 para 19,17, no controle, sem diferença entre os tratamentos. A coordenada b*, que reflete a variação entre o amarelo e o azul, decaiu durante o armazenamento para ambos os tratamentos que apresentavam uma tendência para coloração amarela, porém foi maior nos frutos controle, 38,80, no T6.

O conteúdo de sólidos solúveis totais dos melões minimamente processados revestidos com gelatina adicionado do xarope de yacon foi maior, 6,41 °Brix do que dos frutos controle, 5,33 °Brix, durante o armazenamento (**Tabela 12**). Ao longo do período de armazenamento, o conteúdo de sólidos solúveis totais se manteve constante até o T5 de avaliação, com redução significativa ao 6º dia. O maior conteúdo de sólidos solúveis totais dos frutos revestidos está provavelmente relacionado aos compostos presentes no revestimento. Um artigo de TEMIZ; ÖZDEMİR (2021) mostrou resultado contrário com morangos recobertos com gelatina enriquecida com inulina e probiótico, em que apresentaram aumento no conteúdo de sólidos

solúveis totais durante o armazenamento como consequência da hidrólise de açúcares durante maturação associada a evaporação de água.

A acidez total titulável aumentou durante o armazenamento atingindo 0,21% nos frutos controle, sem diferença significativa entre os tratamentos (**Tabela 12**). À medida que a acidez aumentou, os valores de pH decaíram de 6,41 para 4,74 nos frutos controle, sem diferir dos frutos revestidos (**Tabela 12**). O resultado encontrado aqui para pH encontra-se dentro da faixa relatada por MARTIÑON *et al.* (2014), quando os frutos de meloeiro revestidos com quitosana adicionada de um agente antimicrobiano apresentaram pH entre 5,06 e 5,80.

Tabela 12 – Qualidade pós-colheita do melão minimamente processado revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

Tratamentos	Armazenamento (Dias)	Variáveis							
		Perda de massa		Cor			Sólidos solúveis	Acidez total titulável	pH
		(%)	L*	a*	b*	totais (°Brix)	(% ácido cítrico)		
Controle	0	-	65,45 Aa	21,13 Aa	40,06 Aabc	6,96 Ba	0,14 Ab	6,41 Aa	
	1	4,20 Ad	62,79 Ab	21,49 Aa	39,15 Abc	6,61 Bab	0,18 Aab	6,17 Aab	
	2	4,60 Acd	65,02 Aab	21,17 Aa	40,99 Aab	6,90 Bab	0,20 Aa	6,15 Aab	
	3	4,98 Abc	64,56 Aab	22,07 Aa	41,42 Aa	6,67 Bab	0,19 Aa	6,16 Bab	
	4	5,05 Ab	63,22 Aab	21,19 Aa	39,94 Aabc	6,62 Bab	0,18 Aab	5,98 Ab	
	5	4,98 Abc	65,05 Aab	21,29 Aa	41,72 Aa	6,53 Bb	0,17 Aab	6,11 Ab	
	6	6,23 Aa	63,39 Aab	19,17 Ab	38,80 Ac	5,33 Bc	0,21 Aa	4,74 Ac	
GXY	0	-	61,48 Bab	19,87 Ba	39,05 Aabc	7,62 Aab	0,08 Bd	5,99 Bbc	
	1	3,97 Ad	62,52 Aa	19,67 Ba	39,67 Aab	7,67 Aa	0,20 Aab	5,71 Bc	
	2	4,21 Bcd	60,18 Bab	20,59 Aa	40,28 Aab	7,26 Abc	0,17 Abc	5,72 Bc	
	3	4,41 Bc	61,20 Bab	20,36 Ba	39,31 Bab	7,86 Aa	0,14 Bc	6,35 Aa	
	4	4,84 Ab	62,68 Aa	19,88 Ba	41,10 Aa	7,06 Ac	0,17 Abc	6,02 Ab	
	5	4,59 Bbc	62,00 Bab	19,44 Ba	38,75 Bbc	7,59 Aab	0,13 Bc	5,89 Bbc	
	6	5,48 Ba	59,36 Bb	19,51 Aa	37,06 Bc	6,41 Ad	0,23 Aa	4,64 Ad	

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Médias com letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre tempos de armazenamento ao nível de $p \leq 0,05$.

7.2 Integridade estrutural dos tecidos

7.2.1 Microscopia óptica

A análise histológica dos melões processados mostrou que o mesocarpo dos frutos era constituído de células parenquimáticas com espaços intercelulares e a coloração com azul de Toluidina (**Figuras 5, A-H**) mostrou que as células se apresentavam turgidas e com contorno bem definidos por paredes celulares delgadas e justapostas, no T0 (**Figura 5A e 5E**). Aos 6 dias de armazenamento, observa-se uma desorganização tecidual com células plasmolizadas, com espaços intercelulares ainda maiores e paredes celulares muito expandidas nas amostras controle (**Figura 5D**), enquanto o revestimento contribuiu para manutenção da turgidez celular e integridade do tecido (**Figura 5H**). Essas modificações no turgor celular e na estrutura de parede implicam em uma aparência enrugada que pode ser resultado da desidratação e da respiração, que teria sido menor nos frutos revestidos

Ao avaliar o efeito do revestimento comestível à base de quitosana e transcinamaldeído sobre a integridade estrutural em melão minimamente processado, CARVALHO *et al.* (2016) verificaram células turgidas, contudo, ao longo do período de armazenamento e amadurecimento dos frutos, observaram desorganização do tecido causado pela plasmólise, seguido de uma dissolução da parede celular associada a atividade hidrolíticas como a poligalacturonase.

Quando submetidos a reação do PAS para identificar polissacarídeos neutros da parede celular (**Figuras 6, A-H**), constatou-se que as células se apresentavam bem definidas e túrgidas, no T0 (**Figuras 6A e 6E**). Porém, com o avanço do tempo de armazenamento, pode ser evidenciado uma desestruturação da parede celular, pois ao 6º dia, observa-se um afrouxamento da parede das amostras controle, o que significa uma maior quantidade de polissacarídeo da parede como pectina e celulose, que poderia ser explicado pela dissolução das substâncias pécticas associado a quebra de ligações cruzadas entre os outros componentes da parede (**Figura 6D**).

Figura 5 – Cortes do melão minimamente processado corados com azul de Toluidina armazenado a 10 °C por A) Tempo 0 de armazenamento; B) Tempo de armazenamento 2 dias; C) Tempo de armazenamento 4 dias; e D) Tempo de armazenamento 6 dias para os frutos controle (sem revestimento). Os frutos revestidos com gelatina adicionada de xarope de yacon por E) Tempo 0 de armazenamento; F) Tempo de armazenamento 2 dias; G) Tempo de armazenamento 4 dias; e H) Tempo de armazenamento 6 dias. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE.

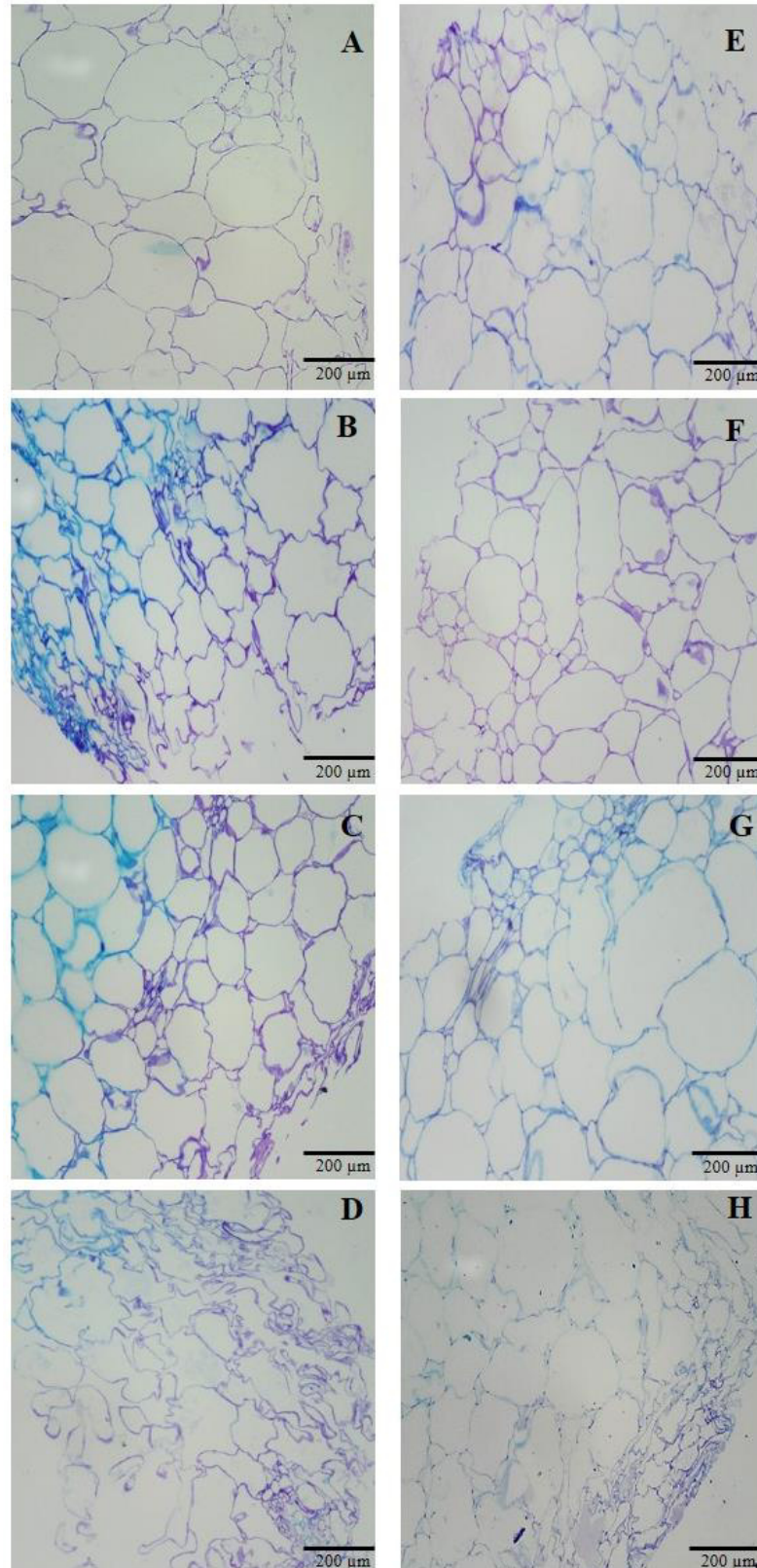
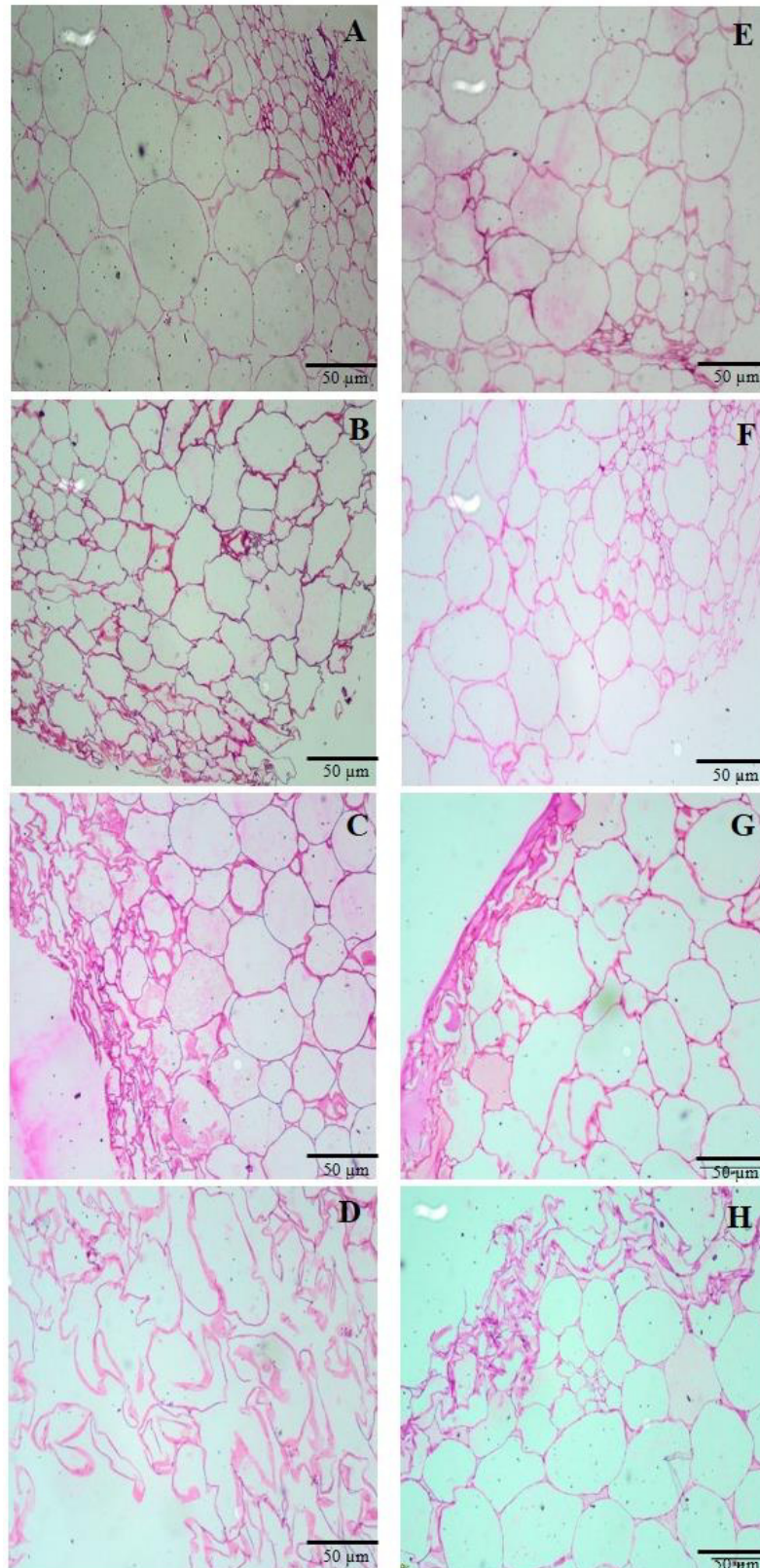


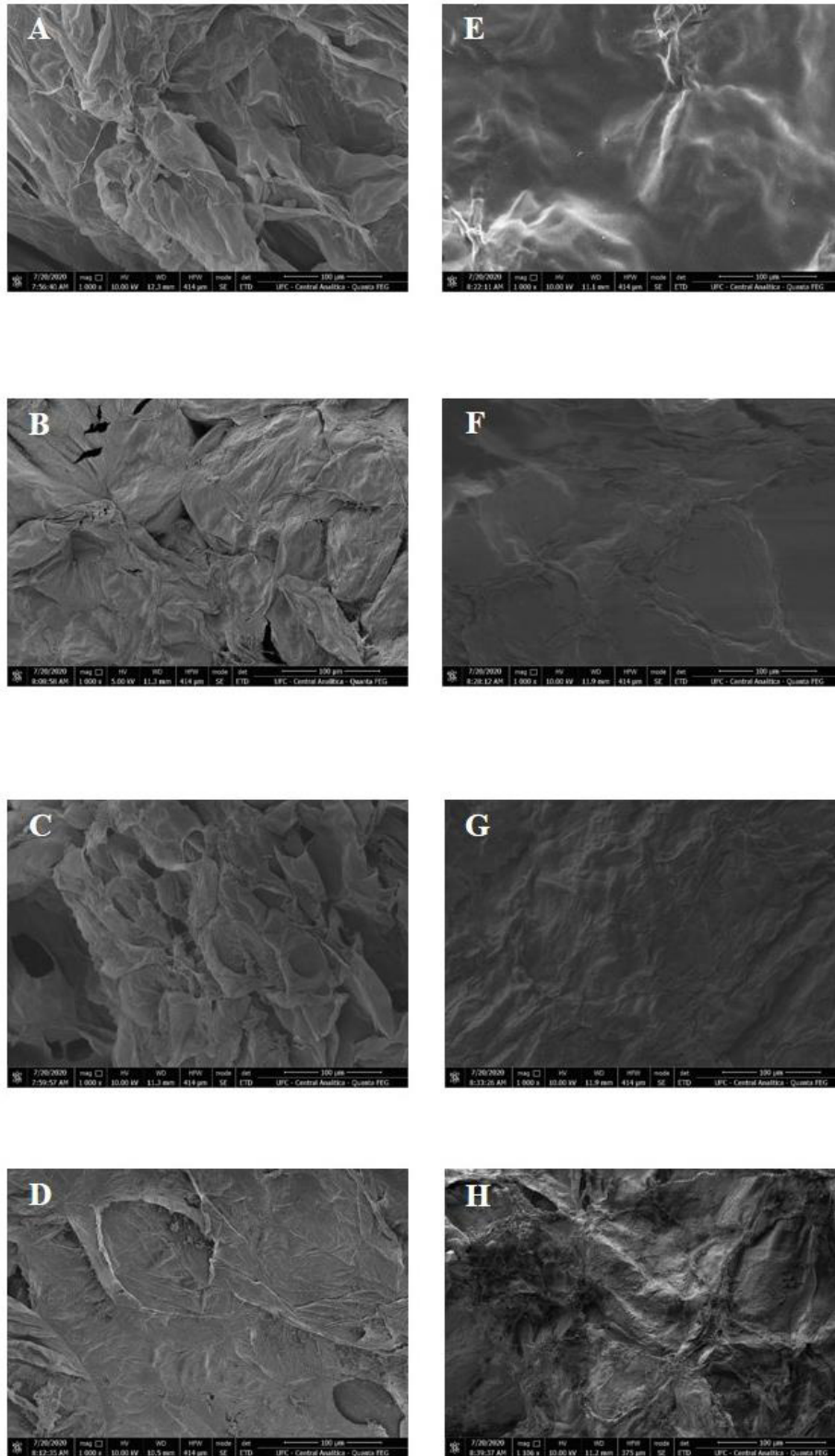
Figura 6 – Cortes do melão minimamente processado submetidos a reação do PAS armazenado a 10 °C por A) Tempo 0 de armazenamento; B) Tempo de armazenamento 2 dias; C) Tempo de armazenamento 4 dias; e D) Tempo de armazenamento 6 dias para os frutos controle (sem revestimento). Os frutos revestidos com gelatina adicionada de xarope de yacon por E) Tempo 0 de armazenamento; F) Tempo de armazenamento 2 dias; G) Tempo de armazenamento 4 dias; e H) Tempo de armazenamento 6 dias. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE.



7.2.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Através das micrografias com aumento de 100 μM dos melões processados e revestidos com gelatina com xarope de yacon (**Figuras 7, E-H**), é possível observar a presença do revestimento homogêneo e uniforme intimamente aderido à superfície do fruto no T0 (**Figura 7E**), em comparação com a amostra sem revestimento que se apresentava com fissuras e contornos irregulares das estruturas das células (**Figura 7A**). Com avanço do tempo de armazenamento, pode ser observado no T6 (**Figuras 7D e 7H**), alterações estruturais na superfície dos frutos controle e revestidos como fissuras e poros nos frutos controle (**Figura 7D**), enquanto o revestimento conferiu uma menor heterogeneidade (**Figura 7H**). KOH *et al.* (2017) constataram por MEV que quitosana, pectina e alginato formaram revestimentos homogêneos com boa aderência à superfície do melão minimamente processado.

Figura 7 - Micrografias em aumento de 100x do melão minimamente processado e armazenado a 10 °C por A) Tempo 0 de armazenamento; B) Tempo de armazenamento 2 dias; C) Tempo de armazenamento 4 dias; e D) Tempo de armazenamento 6 dias para os frutos controle (sem revestimento). Os frutos revestidos com gelatina adicionada de xarope de yacon por E) Tempo 0 de armazenamento; F) Tempo de armazenamento 2 dias; G) Tempo de armazenamento 4 dias; e H) Tempo de armazenamento 6 dias. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE.



7.3 Potencial antioxidante

O conteúdo de polifenóis extraíveis totais (PET) inicial dos melões minimamente processados foi 555,12 mg ácido gálico Kg^{-1} de massa fresca (MF), o qual foi influenciado significativamente tanto pelo revestimento como pelo tempo de armazenamento (**Tabela 13**). Os melões revestidos apresentaram um maior conteúdo PET em relação aos frutos não revestidos prontamente no T1 com 776,74 mg ácido gálico Kg^{-1} MF, e se manteve constante durante o armazenamento. Enquanto às amostras controle apresentaram comportamento inverso com queda no T1 para 458, 03 mg ácido gálico Kg^{-1} MF, se mantendo constante. O aumento dos polifenóis dos melões processados recobertos pode ser associado aos fenólicos presentes no xarope de yacon contido na solução de revestimento que possui um alto conteúdo fenólico de 13.897,2 μg ácido gálico Kg^{-1} MF (**Tabela 11**). Portanto, o revestimento dos frutos processados incrementou seu papel como fonte de compostos fenólicos que atuam como antioxidantes, anti-inflamatórios, antimutagênicos e anticarcinogênicos sendo benéficos para a saúde humana (MAQSOOD *et al.*, 2020).

Dentre os fenólicos, foi avaliado o conteúdo de flavonoides amarelos (**Tabela 13**) e observou-se que o conteúdo inicial 3.326 mg Kg^{-1} MF foi influenciado significativamente tanto pelo revestimento como pelo tempo de armazenamento (**Tabela 13**). Os melões revestidos apresentaram um maior conteúdo de flavonoides amarelos em relação aos frutos não revestidos logo no T1 com 4.966 mg Kg^{-1} MF e se manteve constante durante o armazenamento. Enquanto às amostras controle mantiveram níveis constantes até o T6 com 4.158 mg Kg^{-1} MF. O conteúdo de flavonoides amarelos dos melões processados recobertos pode ser associado aos flavonoides presentes no xarope de yacon. De acordo com CHIRINOS *et al.* (2013), as raízes de yacon apresentaram em sua composição 1,50 mg g^{-1} de peso seco, de flavonoides totais.

O conteúdo inicial (T0) de carotenoides foi 66,41 mg Kg^{-1} MF e foi influenciado significativamente tanto pelo revestimento como pelo tempo de armazenamento (**Tabela 13**). Os melões revestidos apresentaram um maior conteúdo de carotenoides em relação aos frutos não revestidos prontamente no T1 com 141,32 mg Kg^{-1} MF e aumentou durante o armazenamento para com 201,57 mg Kg^{-1} MF, no T6. Enquanto às amostras controle aumentaram até o T6 com 96,62 mg Kg^{-1} MF. O maior conteúdo de carotenoides dos melões processados recobertos pode ser associado aos carotenoides presentes xarope de yacon contido na solução de revestimento. Conforme PACHECO *et al.* (2020), as raízes de yacon possui em sua composição carotenoides (0,14 mg 100g^{-1}), pigmentos com potencial antioxidante que reduzem do risco de comorbidades associadas à obesidade, como doenças cardiovasculares e câncer (GONNET *et al.*, 2010, GÜLÇİN, 2012).

Tabela 13 – Potencial antioxidante do melão minimamente processado e revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

Tratamentos	Armazenamento (Dias)	Variáveis			
		Polifenóis	Flavonoides amarelos	Carotenoides	ATT (ABTS)
		(mg ácido gálico Kg ⁻¹ MF)	(mg Kg ⁻¹ MF)	(mg Kg ⁻¹ MF)	(μM trolox Kg ⁻¹ MF)
Controle	0	555,12 Aa	4.003 Aa	66,41 Ab	13.748,07 Ab
	1	458,03 Bbc	3.326 Ba	70,65 Bb	22.099,45 Ba
	2	446,33 Bc	3.636 Ba	63,38 Bb	14.038,97 Bb
	3	426,29 Bc	3.646 Ba	77,85 Bab	25.704,06 Ba
	4	553,85 Ba	4.392 Ba	72,25 Bb	11.446,59 Bb
	5	491,79 Babc	4.185 Ba	76,90 Bab	14.423,86 Bb
	6	553,08 Bab	4.158 Ba	96,62 Ba	12.271,78 Bb
GXY	0	555,12 Ad	4.003 Ab	66,41 Ae	13.748,07 Ade
	1	776,74 Aab	4.966 Aab	141,32 Ac	54.747,34 Ab
	2	816,59 Aab	4.882 Aab	139,44 Ac	48.218,66 Ac
	3	967,87 Aa	5.973 Aa	171,52 Ab	86.550,47 Aa
	4	753,97 Ac	5.697 Aa	107,15 Ad	21.292,24 Af
	5	801,85 Aab	5.183 Aab	127,48 Acd	33.230,66 Ad
	6	852,03 Ab	5.177 Aab	201,57 Aa	22.932,79 Aef

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Médias com letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos, enquanto letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tempos de armazenamento ao nível de $p \leq 0,05$.

A atividade antioxidante total inicial (AAT) dos melões minimamente processados foi 13.748,07 $\mu\text{M trolox Kg}^{-1}$ de massa fresca (MF) e foi influenciada significativamente tanto pelo revestimento como pelo tempo de armazenamento (**Tabela 13**). Os melões revestidos apresentaram uma maior AAT em relação aos frutos não revestidos logo no T1 com 54.747,34 $\mu\text{M trolox Kg}^{-1}$ MF e se manteve constante durante o armazenamento. Enquanto às amostras controle mantiveram níveis constantes até o T6 com 12.271,78 $\mu\text{M trolox Kg}^{-1}$ MF. A maior AAT dos melões processados recobertos pode ser associado a AAT determinada no xarope de yacon contido na solução de revestimento no valor de 9.430,00 $\mu\text{M trolox Kg}^{-1}$ pelo método ABTS, e 33.050,00 $\mu\text{M F}_2\text{SO}_4 \text{ Kg}^{-1}$ pelo método FRAP (**Tabela 11**). Uma vez que os compostos fenólicos são potentes antioxidantes (VUOLO *et al.*, 2019) e que eles estão presentes no revestimento de gelatina com xarope de yacon, eles devem ter contribuído, assim como os carotenoides, para a maior atividade antioxidante total dos melões revestidos. ALVAREZ *et al.* (2018) avaliaram a influência de revestimento comestível de quitosana adicionado de fibras prebióticas como oligofrutose e fibra de laranja aumentaram as propriedades antioxidantes de mirtilos, justificado pelo poder antioxidante das fibras que desencadearam interações químicas entre polissacarídeos e fibras, que refletiram na atividade antioxidante dos frutos revestidos.

Os resultados indicam um efeito positivo da cobertura de gelatina contendo xarope de yacon sobre o potencial antioxidante dos frutos de meloeiro processados por proporcionar níveis expressivos de fenólicos, flavonoides e carotenoides com atividade antioxidante, que conforme SANTOS-BUELGA *et al.* (2019) desempenham um papel importante para a saúde humana, neutralizando os processos de oxidação e prevenindo doenças crônicas relacionadas ao estresse oxidativo.

7.4 Qualidade microbiológica

Os resultados das avaliações microbiológicas dos frutos minimamente processados e revestidos podem ser observados na **Tabela 14**, porém é importante ressaltar que os frutos controle apresentavam alto grau de contaminação microbiológica no T6 e por isso, não foram avaliados. Para a contagem de coliformes totais, os frutos revestidos e não revestidos apresentaram resultados de 93 NMP g^{-1} , quando avaliados no início do período de armazenamento (T0). Ao final do tempo de estocagem (T6), constata-se que os frutos revestidos avaliados exibiram coliformes totais >1100 . Ainda, foi detectado ausência de *Salmonella* spp. nos frutos revestidos e controle em todos os tempos de armazenamento.

Os frutos encontravam-se dentro da faixa aceitável conforme os critérios estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) descrito na Resolução nº 12 de 02 de

janeiro de 2001, onde estabelece limite máximo de 5×10^2 NMP g^{-1} para coliformes termotolerantes e a ausência de *Salmonella* spp. em 25 g do produto, para hortaliças frescas, *in natura*, preparadas (descascadas ou selecionadas ou fracionadas) sanitizadas, refrigeradas ou congeladas, para consumo direto (BRASIL, 2001). Desse modo, o revestimento de gelatina com xarope de yacon manteve dentro dos níveis satisfatórios os coliformes totais e *Salmonella* spp. em frutos de meloeiro minimamente processado.

Tabela 14 – Qualidade microbiológica do melão minimamente processado e revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

<i>Microrganismos</i>	<i>Armazenamento</i> (Dias)	<i>Tratamentos</i>	
		<i>Controle</i>	<i>GXY</i>
<i>Coliformes totais (NMP g⁻¹)</i>	0	93	93
	6	**	>1100
<i>Salmonella spp. (25 g)</i>	0	Ausência	Ausência
	6	**	Ausência
<i>Mesófilos (UFC g⁻¹)</i>	0	$4,0 \times 10^4$	$1,4 \times 10^5$
	6	**	INC.*
<i>Bolores e leveduras (UFC g⁻¹)</i>	0	< 1	< 1
	6	**	$1,12 \times 10^6$

Fonte: Laboratório de Microbiologia/Embrapa Agroindústria Tropical.

*INC.: Incontáveis;

** : não foram analisados por estarem impróprios para consumo.

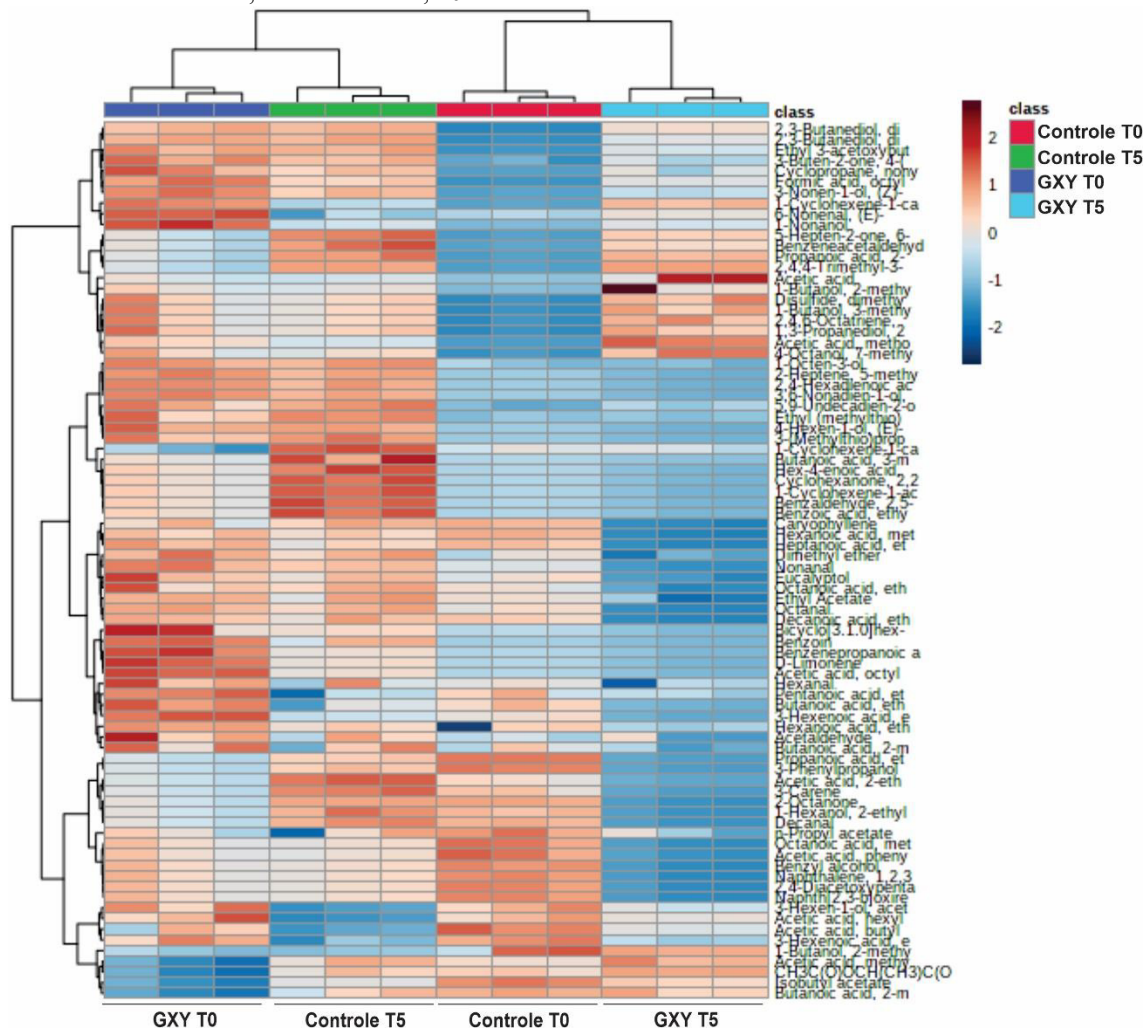
A contagem inicial de mesófilos dos frutos revestidos e não revestidos (controle) armazenados a 10 °C foi $1,4 \times 10^4$ e $4,0 \times 10^5$ UFC g^{-1} , respectivamente, e aumentaram durante o armazenamento (**Tabela 14**), porém a legislação brasileira não preconiza limites para esses microrganismos em frutos e hortaliças. Para bolores e leveduras, observa-se que no início do armazenamento (T0), os frutos revestidos e não revestidos estão dentro do limite (10^3 e 10^4 UFC g^{-1}) proposto no regulamento, item 2, da Instrução Normativa nº 60 da ANVISA, de 26 de dezembro de 2019. Contudo, os frutos revestidos avaliados no T6 (**Tabela 14**), estão acima do permitido pela legislação vigente (BRASIL, 2019).

7.5 Análise de compostos orgânicos voláteis

A análise dos compostos aromáticos dos frutos com e sem o revestimento comestível permitiu a identificação de metabólitos pertencentes a diferentes grupos químicos, incluindo ésteres, álcoois, aldeídos, terpenóides e compostos de enxofre (**Figura 8**). Devido ao considerável número de voláteis identificados, foram selecionadas 18 moléculas características

do melão (**Figura 9**), reportadas por CONDURSO *et al.* (2012), SHI *et al.* (2020), FARCUH *et al.* (2020).

Figura 8 – Heatmap com agrupamento hierárquico dos metabólitos obtidos do melão minimamente processado revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.

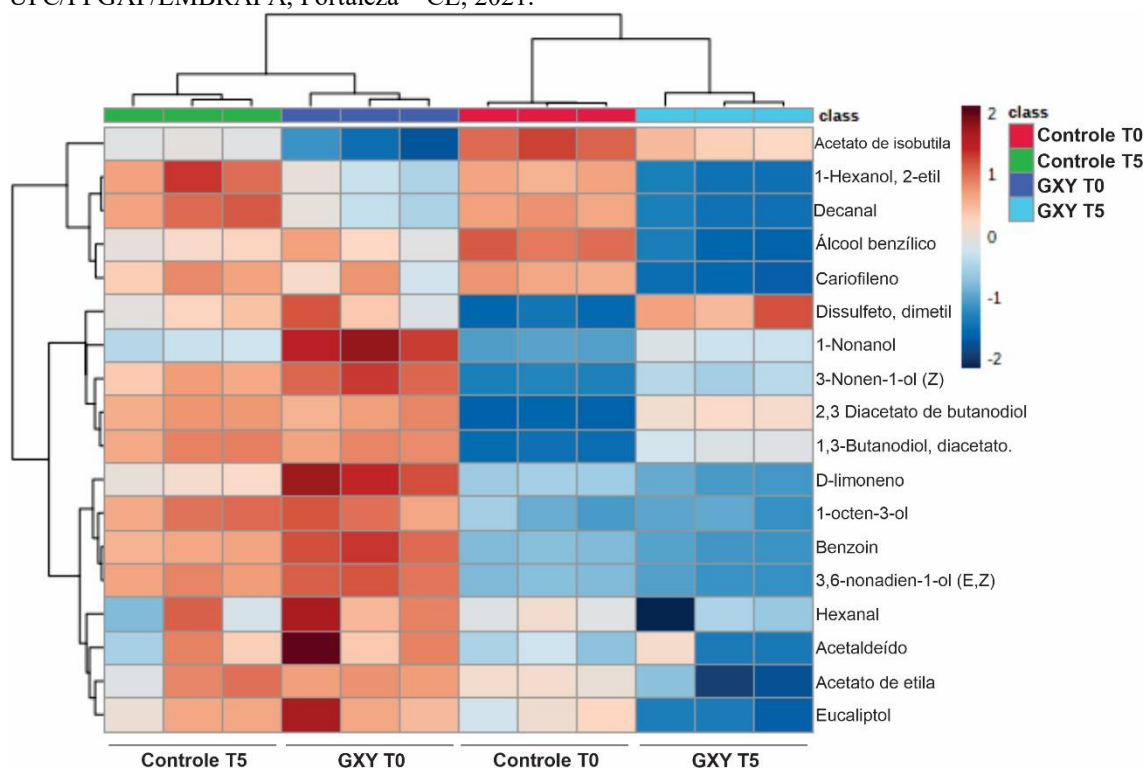


Nas **Figuras 8 e 9**, existem dois agrupamentos que formam um padrão de comportamento. No agrupamento 1, observa-se que os compostos voláteis presentes nos frutos controle (T0) e revestidos (T5), e no agrupamento 2, os compostos dos frutos controle (T5) e revestidos (T0), tiveram taxa de produção de compostos aromáticos semelhantes.

Através do heatmap é possível observar que o revestimento de gelatina com xarope de yacon, influenciou a emissão de compostos voláteis durante o período de armazenamento dos frutos de meloeiro, em que os frutos revestidos (T0) apresentam maior abundância de compostos aromáticos. Contudo, ao final do período de acondicionamento (T5), nota-se

redução desses compostos dos frutos avaliados (**Figura 9**), que pode estar relacionado a menor taxa respiração e de produção de etileno, que favoreceu atraso no amadurecimento destes frutos.

Figura 9 – Heatmap com agrupamento hierárquico dos principais metabólitos obtidos do melão minimamente processado revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.



MANNUCCI *et al.* (2017) constataram o revestimento de gelatina reduziu o desenvolvimento de voláteis aromáticos em maçãs, em função da menor taxa de respiração. Os autores observaram que os ésteres de acetato, que geralmente aumentam com a maturidade, estavam menos concentrados em maçãs revestidas, como uma provável consequência do retardamento do amadurecimento influenciado pelo revestimento.

Observa-se ainda, a menor abundância de compostos dos frutos controle avaliados (T0), seguido de aumento dos componentes aromáticos (T5) (**Figura 9**). Assim sendo, a maior taxa de emissão observada nos frutos controle pode estar associada ao processo amadurecimento e senescência. Os compostos aromáticos nos frutos são formados principalmente durante o amadurecimento (ARAGÜEZ; VALPUESTA, 2013; NGAMCHUACHIT *et al.*, 2015).

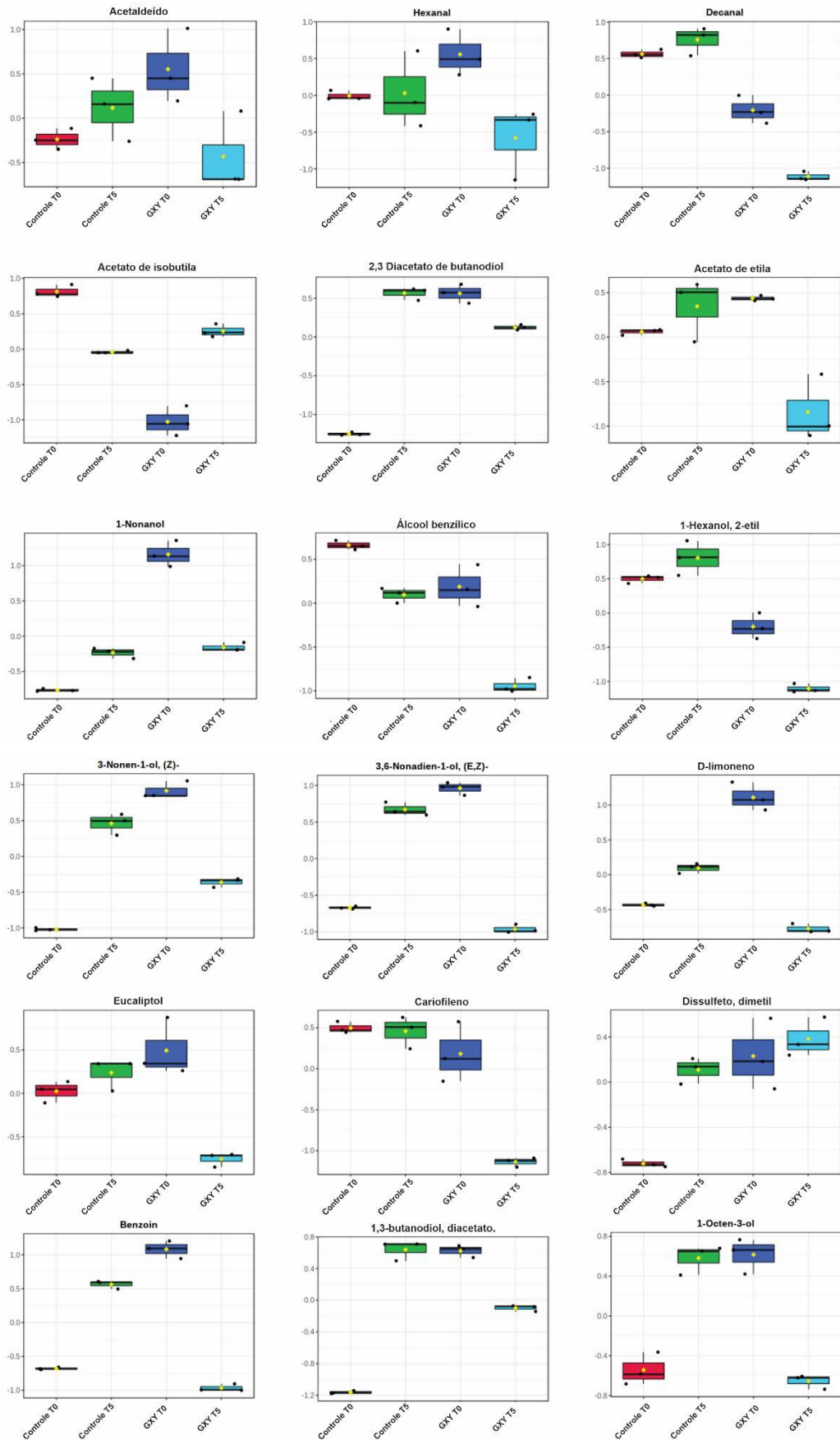
NAGASHIMA *et al.* (2021) ao avaliar os componentes voláteis durante o amadurecimento do melão, relataram que os frutos em estágio final apresentaram valores mais elevados para ésteres, terpenóides ((E, Z)-3,6-nonadien-1-ol) e álcoois (álcool benzílico). Na **Figura 10**, observa-se que esses compostos também aumentaram durante o acondicionamento dos frutos controle (T5).

Para os aldeídos, como o acetaldeído e hexanal identificados nesta pesquisa, também foram encontrados em variedades climatéricas de melão, em que altas concentrações desses compostos estão associados a um alto grau de maturação em melões, provavelmente, como resultado da estimulação da atividade da lipoxigenase com etileno (LAMIKANRA; RICHARD, 2002; BALDWIN, 2002; SENESI *et al.*, 2005; BEAULIEU, 2006; BELLINCONTRO *et al.*, 2006).

Na **Figura 10**, os compostos D-limoleno, eucaliptol e cariofileno aumentaram nos frutos controle (T5). VALLONE *et al.* (2013), detectaram em melões que compostos da classe terpenóides aumentaram significativamente à medida que os frutos de meloeiro amadureciam.

Os dados apresentados neste estudo demonstraram que os componentes aromáticos foram específicos para os diferentes tratamentos aplicados, notadamente para os frutos controle que aumentaram durante o período de acondicionamento, associado ao amadurecimento. Esses resultados indicam que a gelatina com xarope de yacon foi eficaz em retardar o amadurecimento dos melões processados, de modo a melhorar os atributos de qualidade que inclui o aroma.

Figura 10 – Boxplot dos principais metabólitos obtidos do melão minimamente processado revestido com gelatina adicionada de xarope de yacon (GXY), durante armazenamento a 10 °C. UFC/PPGAF/EMBRAPA, Fortaleza – CE, 2021.



8 CONCLUSÕES

À aplicação de um revestimento de gelatina adicionado de xarope de yacon como fonte de FOS em melão minimamente processados apresentou bons resultados para a manutenção da qualidade físico-química e da integridade estrutural dos frutos ao longo do armazenamento refrigerado. Além disso, o revestimento aumentou o potencial antioxidante dos melões minimamente processados através do aumento em compostos fenólicos, carotenoides e flavonoides. O revestimento não impediu o desenvolvimento de microrganismos nas condições em que o melão foi armazenado por 6 dias, porém estes estavam em melhores condições do que os frutos controle que apresentaram grau tão avançado de deterioração por patógenos não sendo avaliados. Os compostos aromáticos presentes nos frutos controle aumentaram, enquanto os frutos revestidos apresentaram uma menor concentração, associado ao efeito do revestimento no amadurecimento. Assim, os resultados aqui observados permitem concluir que o revestimento proposto incrementou as propriedades funcionais dos melões minimamente processados mantendo sua qualidade por até 5 dias, a 10 °C.

8 CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados apontam que o xarope é um ingrediente com potencial para enriquecimento de alimentos, por seus altos níveis de compostos bioativos, ácido clorogênico, FOS e minerais.

O filme comestível de gelatina adicionado do xarope de yacon caracterizou-se como um produto biotecnológico que pode apresentar efeito protetor, potencial funcional para aplicação em frutos e hortaliças *in natura* e/ou processados.

Os melões minimamente processados revestidos com gelatina adicionada do xarope de yacon apresentaram bons resultados para a manutenção da qualidade e da integridade estrutural. Ainda, o revestimento incrementou as propriedades funcionais dos melões, em que estes apresentaram altos conteúdos de compostos bioativos excelentes para a dieta humana, aptos ao consumo por cinco dias, a 10 °C.

RECONHECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, M. V.; BAMBACE, M. F.; QUINTANA, G.; GOMEZ-ZAVAGLIA, A.; MOREIRA, M. del R. Prebiotic-alginate edible coating on fresh-cut apple as a new carrier for probiotic lactobacilli and bifidobacteria. **LWT - Food Science and Technology**, v.137, 110483, 2021.
- ALVAREZ, M. V.; PONCE, A. G.; MOREIRA, M. R. Influence of polysaccharide-based edible coatings as carriers of prebiotic fibers on quality attributes of ready-to-eat fresh blueberries. **Journal of the Science Food and Agriculture**, v. 98, p. 2587–2597, 2018.
- ANDREWS, W. H.; JACOBSON, A.; HAMMACK, T. S. Salmonella. **In: UNITED STATES FOOD DRUG ADMINISTRATION (Ed.). Bacteriological analytical manual online**. 8th ed. Rockville: FDA, 2014. Chap. 5. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>. Acesso em: 26 maio 2021.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis**. Gaithersburg, Maryland, ed. 20, 2016.
- APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. ed. 4, Washington, p. 476, 2001.
- ARAGÜEZ, I.; VALPUESTA, V. Metabolic engineering of aroma components in fruits. **Journal Biotechnology**, v. 8, p.1144-1158, 2013.
- BALDWIN, E. Fruit flavor, volatile metabolism and consumer perceptions. **In: Knee, M. (Ed.). Fruit Quality and Its Biological Basis**. Sheffield Academic Press Ltd., Sheffield, UK, pp. 89–106, 2002.
- BAMBACE, M. F.; ALVAREZA, M. V.; MOREIRA, M. DEL R. Novel functional blueberries: Fructo-oligosaccharides and probiotic lactobacilli incorporated into alginate edible coatings. **Food Research International**, v. 122, p. 653 – 660, 2019.
- BASTOS, M. S. R. **Frutas Minimamente Processadas: Aspectos de Qualidade e Segurança**. Fortaleza, 38 p, 2006.
- BEAULIEU, J. Volatile changes in cantaloupe during growth, maturation, and in stored fresh-cuts prepared from fruit harvested at various maturities. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 131, p.127–139, 2006.
- BELLINCONTRO, A.; FARDELLI, A.; SANTIS, D. de; BOTONDI, R.; MENCARELLI, F. Postharvest ethylene and 1-MCP treatments both affect phenols, anthocyanins, and aromatic quality of Aleatico grapes and wine. **Australian Journal Grape Wine Research**, v. 12, p.141–149, 2006.
- BRASIL. **Instrução Normativa N° 60, de 23 de dezembro de 2019**. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2019.

BRASIL. **Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001.** Aprova regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2001.

CARVALHO, R. L.; CABRAL, M. F.; GERMANO, T. A.; CARVALHO, W. M. De; BRASIL, I. M.; GALÃO, M. I.; MOURA, C. F. H.; LOPES, M. M. A.; MIRANDA, M. R. A. de. Chitosan coating with trans-cinnamaldehyde improves structural integrity and antioxidant metabolism of fresh-cut melon. **Postharvest Biology and Technology**, v.113, p. 29-39, 2016.

CHEN, L.; KARBOUNE, S. Prebiotics in Food and Health: Properties, functionalities, production, and overcoming limitations with second-generation levan-type fructooligosaccharides. **Encyclopedia of Food Chemistry**, p.: 271-279, ed.: Academic Press, ISBN 9780128140451, 2019.

CHIRINOS, R.; PEDRESCHI, R.; ROGEZC, H.; LARONDELLE, Y.; CAMPOS, D. Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. **Industrial Crops and Products**, v. 47, p. 145–152, 2013.

CONDURSO, C.; VERZERA, A.; DIMA, G.; TRIPODI, G.; CRINÒ, P.; PARATORE, A.; ROMANO, D. Effects of different rootstocks on aroma volatile compounds and carotenoid content of melon fruits. **Scientia Horticulturae**, v.148, p. 9–16, 2012.

DEGHANI, S.; HOSSEINI, S. V.; REGENSTEIN, J. M. Edible films and coatings in seafood preservation: A review. **Food Chemistry**, v. 240, p. 505-513, 2018.

DIONÍSIO, A. P.; WURLITZER, N. J.; VIEIRA, N. M.; GOES, T. S.; MODESTO, A. L. G.; ARAUJO, I. M. S. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): Obtenção de extrato com manutenção das propriedades nutricionais e inativação de enzimas de escurecimento. Embrapa Agroindústria Tropical, **Comunicado Técnico 206**, Fortaleza – CE, p. 1-5, 2013.

FAKHOURI, F. M.; MARTELLI, S. M.; CAON, T.; VELASCO, J. I.; BUONTEMPO, R. C.; BILCK, A. P.; MEI, L. H. I. The effect of fatty acids on the physicochemical properties of edible films composed of gelatin and gluten proteins. **LWT - Food Science and Technology**, v. 87, p. 293-300, 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT: statistics database**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 04 jun. 2021.

FARCUH, M.; COPES, B.; LE-NAVENEC, G.; MARROQUIN, J.; CANTU, D.; BRADFORD, K. J.; GUINARD, J. X.; DEYNZE, A. V. Sensory, physicochemical and volatile compound analysis of short and long shelf-life melon (*Cucumis melo* L.) genotypes at harvest and after postharvest storage. **Food Chemistry**, v. 8, 100107, 2020.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. **In:** MARKAKIS, P. (ed.). Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press, 1982. p. 181-207.

GONNET, M., LETHUAUT, L., BOURY, F. New trends in encapsulation of liposoluble vitamins. **Journal of Controlled Release**, v. 146, n. 3, p. 276-290, 2010.

GÜLÇİN, I. Antioxidant activity of food constituents: An overview. **Arch Toxicol**, v.86, n.3, p. 345-391, 2012.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ-IAL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 6. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

KARNOVSKY, M. J. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology**, v. 27, p. 137-138, 1965.

KIST, B. B.; CARVALHO, C.de; BELING; R. R. **Anuário brasileiro de Horti&Fruti 2021**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2021.

KOH, P. C.; NORANIZAN, M. A.; HANANI, Z. A. N.; KARIM, R.; ROSLI, S. Z. Application of edible coatings and repetitive pulsed light for shelf life extension of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo L. reticulatus* cv. Glamour). **Postharvest Biology and Technology**, v.129, p. 64-78, 2017.

LAMIKANRA, O.; RICHARD, O.A. Effect of storage on some volatile aroma compounds in fresh-cut Cantaloupe melon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, 4043–4047, 2002.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 4, p.1390- 1393, 1997.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **In:** PACKER, L., DOUCE, R. (Eds). *Methods in Enzimology*. London, v.148, p. 350-382, 1987.

MANNUCCI, A.; SERRA, A.; REMORINI, D.; CASTAGNA, A.; MELE, M.; SCARTAZZA, A.; RANIERI, A. Aroma profile of Fuji apples treated with gelatin edible coating during their storage. **LWT - Food Science and Technology**, v. 85, p. 28-36, 2017.

MAQSOOD, S.; ADIAMO, O.; AHMAD, M.; MUDGIL, P. Bioactive compounds from date fruit and seed as potential nutraceutical and functional food ingredients. **Food Chemistry**, v.308, n. 5, 125522, 2020.

MARTIÑON, M. E.; MOREIRA, R. G.; CASTELL-PEREZ, M. E.; GOMES, C. Development of a multilayered antimicrobial edible coating for shelf-life extension of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo L.*) stored at 4 °C. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, ed. 2, p. 341-350, 2014.

MCILVAINE, T. A buffer solution for colorimetric comparison. **Journal of Biological Chemistry**, v.49, p.183-186, 1921.

MCMANUS, J. Histological and histochemical uses of periodic acid. **Stain technology**, v. 23, p. 99-108, 1948.

NAGASHIMA, Y.; HE, K.; SINGH, J.; METRANI, R.; CROSBY, K. M.; JIFON, J.; JAYAPRAKASHA, G. K.; PATIL, B.; QIAN, X.; KOIWA, H. Transition of aromatic volatile and transcriptome profiles during melon fruit ripening. **Plant Science**, v. 304, 110809, 2021.

NCAMA, K.; MAGWAZA, L. S.; MDITSHWA, A.; TESFAY, S. Z. Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 157-167, 2018.

NGAMCHUACHIT, P.; SIVERTSEN, H. K.; MITCHAM, E. J.; BARRETT, D. M. Influence of cultivar and ripeness stage at the time of fresh-cut processing on instrumental and sensory qualities of fresh-cut mangos. **Postharvest Biology and Technology**, v.106, p. 11–20, 2015.

OBANDA, M.; OWUOR, P.O. Flavanol Composition and Caffeine Content of Green Leaf as Quality Potential Indicators of Kenyan Black Teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.74, p.209-215, 1997.

PACHECO, M. T.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, O.; MORENO, F. J.; VILLAMIEL, M. Andean tubers grown in Ecuador: New sources of functional ingredients. **Food Bioscience**, v. 35, 10060, 2020.

PANG, Z.; CHONG, J.; ZHOU, G.; MORAIS D.; CHANG, L.; BARRETTE, M.; GAUTHIER, C.; JACQUES, PE.; LI, S.; XIA, J. (2021). MetaboAnalyst 5.0: narrowing the gap between raw spectra and functional insights. **Nucleic Acids Research**, v. 49, doi: 10.1093/nar/gkab382.

RASID, N. A. M.; NAZMI, N. N. M; ISA, M.I.N.; SARBON, N. M. Rheological, functional and antioxidant properties of films forming solution and active gelatin films incorporated with *Centella asiatica* (L.) urban extract. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 18, p. 115–124, 2018.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, [S. l.], v. 26, n. 9– 10, p. 1231–1237, 1999.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; JIMÉNEZ. J. P.; CALIXTO. F. S. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, London, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J. SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS⁺. **Comunicado Técnico 128**, Fortaleza. Embrapa Agroindústria Tropical. 2007.

SAHOO, N.; SAHOO, R. K.; BISWAS, N.; GUHA, A.; KUOTSU, K. Recent advancement of gelatin nanoparticles in drug and vaccine delivery. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 81, p. 317 – 331, 2015.

SANTOS-BUELGA, C.; GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M.; OLUDEMI, T.; AYUDA-DURÁN, B.; GONZÁLEZ-MANZANO, S. Plant phenolics as functional food ingredients. **Advances in Food and Nutrition Research**, cap. 4, v. 90, p. 183-257, ed. Academic Press, ISBN 9780128165676, 2019.

SENESI, E.; DI CESARE, L. F.; PRINZIVALLI, C.; LO SCALZO, R. Influence of ripening stage on volatiles composition, physicochemical indexes and sensory evaluation in two varieties of muskmelon (*Cucumis melo* L. var *reticulatus* Naud). **Journal of the Science of Food Agriculture**, v. 85, p. 1241–1251, 2005.

SHI, J.; WU, H.; XIONG, M.; CHEN, Y.; CHEN, J.; ZHOU, B.; WANG, H.; LI, L.; FU, X.; BIE, Z.; HUANG, Y. Comparative analysis of volatile compounds in thirty nine melon cultivars by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 316, 126342, 2020.

TEMIZ, N. N.; OZDEMIR, K. S. Microbiological and physicochemical quality of strawberries (*Fragaria × ananassa*) coated with *Lactobacillus rhamnosus* and inulin enriched gelatin films. **Postharvest Biology and Technology**, v. 173, 111433, 2021.

VALLONE, S.; SIVERTSEN, H.; ANTHON, G. E.; BARRETT, D. M.; MITCHAM, E. J.; EBELER, S. E.; ZAKHAROV, F. An integrated approach for flavour quality evaluation in muskmelon (*Cucumis melo* L. *reticulatus* group) during ripening. **Food Chemistry**, v. 139, p. 171–183, 2013.

VELDERRAIN-RODRÍGUEZ, G. R.; LÓPEZ-GÁMEZ, G. M.; DOMÍNGUEZ-AVILA, J. A.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; SOLIVA-FORTUNY, R.; AYALA-ZAVALA, J. F. Minimal Processing. **Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities**, cap. 10, p.: 353-374, ed.: Woodhead Publishing, ISBN 9780128132760, 2019.

VUOLO, M. M.; LIMA, V. S.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R. Phenolic Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power. **Bioactive Compounds**, cap. 2, p. 33-50, ed. Woodhead Publishing, ISBN 9780128147740, 2019.

YOUSUF, B.; DESHI, V.; OZTURK, B.; SIDDIQUI, M. W. Fresh-cut fruits and vegetables: Quality issues and safety concerns. **Trends in Food Science & Technology**, cap. 1, p.: 1-15, ed.: Academic Press, ISBN 9780128161845, 2020.

YOUSUF, B.; WU, S.; SIDDIQUI, M. W. Incorporating essential oils or compounds derived thereof into edible coatings: Effect on quality and shelf life of fresh/fresh-cut produce. **Trends in Food Science & Technology**, v. 108, p.: 245–257, 2021.