

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

GIOVANI ALMEIDA CAMARGO

SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA:
APRIMORANDO A VIDA ÚTIL DE FRUTAS E HORTALIÇAS UTILIZANDO
BIOPLÁSTICOS BIODEGRADÁVEIS E INGREDIENTES ATIVOS

PONTA GROSSA

2024

GIOVANI ALMEIDA CAMARGO

SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA:
APRIMORANDO A VIDA ÚTIL DE FRUTAS E HORTALIÇAS UTILIZANDO
BIOPLÁSTICOS BIODEGRADÁVEIS E INGREDIENTES ATIVOS

Tese de Doutorado apresentada como requisito
para obtenção do título de Doutor em Ciência e
Tecnologia de Alimentos pelo Programa de Pós
Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos
da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Bonametti Olivato

Coorientadores: Prof. Dr. Ricardo Ayub; Dr. Daniel
Alexandre Neuwald

PONTA GROSSA

2024

C172 Camargo, Giovani Almeida

Soluções sustentáveis para conservação pós-colheita: aprimorando a vida útil de frutas e hortaliças utilizando bioplásticos biodegradáveis e ingredientes ativos / Giovani Almeida Camargo. Ponta Grossa, 2024.

271 f.

Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Área de Concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Bonametti Olivato.
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Antonio Ayub.

1. Tecnologia verde. 2. Resíduos agroindustriais. 3. Produtos perecíveis. I. Olivato, Juliana Bonametti. II. Ayub, Ricardo Antonio. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ciências e Tecnologia de Alimentos. IV.T.

CDD: 664.01

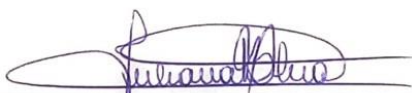
TERMO DE APROVAÇÃO

GIOVANI ALMEIDA CAMARGO

“Soluções sustentáveis para conservação pós-colheita: aprimorando a vida útil de frutas e hortaliças utilizando bioplásticos biodegradáveis e ingredientes ativos”.

Tese aprovada como requisito para obtenção do grau de Doutor(a) no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

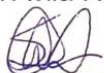
Orientador: Profa. Dra. Juliana Bonametti Olivato - UEPG-PR



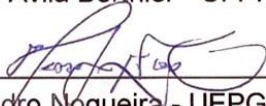
Profa. Dra. Juliana Bonametti Olivato - UEPG-PR - Presidente



Profa. Dra. Sabrina Ávila Rodrigues - UTFPR-PR - Membro Titular Externo



Profa. Dra. Suelen Ávila Berthier - UFPR-PR - Membro Titular Externo



Prof. Dr. Alessandro Nogueira - UEPG-PR - Membro Titular Interno



Prof. Dr. Guilherme de Almeida Souza Tedrus - UEPG-PR - Membro Titular



Profa. Dra. Aline Alberti - UEPG-PR - Membro Interno

Ponta Grossa, 20 de setembro de 2024.

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus.

Ao meu tio, Josué Almeida e aos meus avós, Amador Almeida e Vera Beninca Almeida (*in memoriam*).

Aos meus familiares, amigos e colegas, que tanto me apoiaram na pós-graduação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, aos órgãos de financiamento que custearam a execução do projeto. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Fundação Araucária. Houve também o apoio do Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico (DAAD) em conjunto com a CAPES. As orientações e apoio técnico do PPGCTA (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) foram imprescindíveis. Externo aqui agradecimento especial a todos os coordenadores do programa.

Aos professores Dr. Ivo Mottin Demiatte e Dr. Alessandro Nogueira, os quais foram fundamentais para o meu início e permanência na pós-graduação *strictu sensu* no PPGCTA. Estendo também a todos os professores e pesquisadores que tive contato durante a minha jornada de mestrando e pós-graduando, tanto pelo aprendizado em aulas e atividades de laboratório como pelo companherismo no cotidiano. À minha orientadora Profa. Dra. Juliana Bonametti Olivato por toda a atenção e disposição prestada durante a minha vida como pós-graduando e também por auxiliar diretamente na concretização do sonho de doutorado sanduíche no exterior, além de ter partilhado experiências e pontos de vista que me motivaram em permanecer na pesquisa.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Ricardo Ayub, pela viabilização de parte do projeto em instituições estrangeiras, sendo fundamental para que o presente trabalho pudesse ser desenvolvido com parceiros na Alemanha. Sua disciplina de Fruticultura na graduação foi importante para que eu ficasse com vontade de levar adiante estudos relacionado a essa área. Ao meu orientador estrangeiro Dr. Daniel Alexandre Neuwald por todo o auxílio e conhecimento compartilhado durante o meu semestre em território alemão. A amizade e acolhimento do senhor e de sua família também foram fundamentais para o meu sucesso durante o Doutorado Sanduíche Curto.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Centro de Excelência de Fruticultura do Lago Constança pelo apoio de recursos materiais e humanos que possibilitaram a plena execução experimental do trabalho. Ao presidente do Centro de Excelência de Fruticultura do Lago Constança, Manfred Buechele, que colaborou para a minha estadia nos alojamentos da instituição. Foi essencial para que eu tivesse uma oportunidade de convivência com os demais estudantes estrangeiros,

beneficiando o aprendizado com diferentes perfis profissionais e além da oportunidade de conhecer novas culturas.

A todos os professores, funcionários, amigos e colegas que me ajudaram nos experimentos executados, nas disciplinas da pós-graduação e na vida acadêmica como um todo em Ponta Grossa: Ana Beatriz, Amanda Chezini, Jhonatan Andrade, Rafaela Gomes, Ranyelly Coutrim, Prof. Dr. Alessandro Nogueira, Prof. Dr. Ivo Mottin Demiatte, Denise Maria de Souza Mendes, Cida, Miriam, Eliane e todos os demais os quais não cito nominalmente mas que de alguma maneira puderam propiciar auxílio ou companheirismo durante minha vida de doutorando no Brasil.

A todos os profissionais, funcionários, amigos e colegas que me ajudaram nos experimentos executados, nas trocas de conhecimento e no dia-a-dia de trabalho em Ravensburg: Berenice Vollmar, Kartik Khera, Fernando Giareta Cezar, Ricardo Bauer Pilla, Aishwarya Patrudkar Adhyapak, Sabine, Christina Stephan, Kiran Hivare, Christeena Rosmin Antony, Pooja Anand, Jannis Reusing, Felix Buechele e todos os demais (de diferentes nações como Cuba, Índia e Alemanha) os quais não cito nominalmente mas que de alguma maneira puderam propiciar auxílio ou companheirismo durante minha vida de doutorando na Alemanha.

Agradeço aos membros das bancas de qualificação e defesa pelas considerações e correções apontadas durante a redação da tese. Aos membros da banca de qualificação, Prof. Dr. Guilherme de Almeida Souza Tedrus e Profa. Dra. Sabrina Ávila Rodrigues, meus sinceros agradecimentos por todo o trabalho prestado em prol do aperfeiçoamento do presente trabalho.

Sou grato também a todos os professores que acreditaram no meu potencial e ajudaram durante a minha graduação sanduíche, me guiando e me auxiliando desde o início da minha formação profissional. Agradecimentos em especial aos professores Dr. Martin Stone, Me. Paulo Carrilho e Dr. Emílio Trevisan. A parceria exitosa entre os grupos de pesquisa de duas IES estaduais foi imperiosa para as conclusões mais importantes dessa tese, portanto também agradeço as colegas da Unicentro.

Agradecimentos especiais para a bibliotecária Angela da BICEN, pela gentileza e paciência ao me ajudar na normatização técnica dessa obra. Por fim, agradeço a todas as pessoas cujos nomes não estão aqui citados, mas que me auxiliaram de uma forma ou de outra no decorrer da construção dessa tese de quase meia década e na minha trajetória no ensino técnico, graduação e pós-graduação.

Viva cada estação que passa: respire o ar, beba a bebida, prove a fruta.

Henry David Thoreau

RESUMO

Primou-se pelo desenvolvimento de embalagens amidoplásticas ativas derivadas malte cervejeiro para o embalamento de hortifrúti. Selecionaram-se três frutas (mirtilo, ameixa e amora) e uma hortaliça (abóbora). No capítulo 1 objetivou-se a construção de uma revisão de literatura pertinente aos temas de pós-colheita e bioplásticos, havendo uma exploração dos temas a serem introduzidos no decorrer da obra. No capítulo 2, o objetivo foi a avaliação de material bioplástico apto para embalagens, fazendo uso de análises físico-químicas em bioplásticos associados com bagaço de malte. Os resultados sinalizaram que o material possui maleabilidade, estabilidade físico-química e degradabilidade adequadas para um material de embalagem. No capítulo 3, houve a aplicação de ingrediente ativo em mirtilo refrigerado por 28 dias em embalagens de papel e de plástico tratado com óleo essencial de menta em cada tipo de embalagem, sendo concluído que o mirtilo submetido ao ingrediente ativo apresenta forte efeito residual perceptível. No capítulo 4 ocorreu a utilização de ingrediente ativo de óleo essencial de menta em veículo bioplástico na ameixa refrigerada por 81 dias com tratamentos e recobrimento de amido. A base bioplástica associada ao ingrediente ativo do óleo essencial de menta apresentou menor incidência de murchamento em ameixa. No capítulo 5, executou-se o armazenamento de amora por 19 dias sob concentrações de bagaço de malte em 0%, 9%, 18% e 27%, havendo a conclusão de que a aplicação de bioplástico contendo composto de bagaço de malte conferiu menor ocorrência de podridão e vazamento nas frutas além de conferir resultados baixos de permeabilidade na base bioplástica. As análises indicaram que a aplicação de bioplásticos contendo quaisquer quantias de bagaço de malte conferiram menor ocorrência de podridão e vazamento nas frutas. No capítulo 6, aplicou-se uma diversa gama de ingredientes ativos em embalagens bioplásticas de nase amilácea contendo bagaço de malte: óxido de ferro; nanoargila zeólita, óleo essencial de timol e alfa-tocoferol para a armazenagem de abóbora minimamente processada por 12 dias. O tocoferol acarretou em menor escurecimento de polpa, além do óleo essencial de tomilho e óxido de ferro preservarem a umidade e apresentarem taxa inferior de progressão de amolecimento perceptível. O Capítulo 7 destaca o efeito proveniente da ação dos óleos essenciais de menta e de tomilho.

Palavras-chave: Tecnologia verde. Resíduos agroindustriais. Produtos perecíveis.

ABSTRACT

The monograph focused on the development of active starch-plastic packaging derived from brewing malt for packaging fruit and vegetables. In an attempt to use available fruit and vegetables for the research, three fruits (blueberries, plums and blackberries) and one vegetable (pumpkin) were selected. Chapter 1 aimed to construct a literature review on the topics of post-harvest and bioplastics, exploring the topics to be introduced throughout the work. Chapter 2 aimed to evaluate bioplastic material suitable for packaging, using physical-chemical analyses of bioplastics associated with malt bagasse. The results indicated that the material has malleability, physical-chemical stability and degradability suitable for a packaging material. In Chapter 3, the active ingredient was applied to blueberries refrigerated for 28 days in paper and plastic packaging treated with mint essential oil in each type of packaging, concluding that blueberries subjected to the active ingredient have a strong, noticeable residual effect and require further studies. In Chapter 4, the active ingredient was used in a bioplastic vehicle in plums refrigerated for 81 days with starch coating treatments and containing mint essential oil in a bioplastic vehicle during storage. The response was that the bioplastic base associated with the active ingredient of mint essential oil showed a lower incidence of wilting in plums. In Chapter 5, blackberries were stored for 19 days under malt bagasse concentrations of 0%, 9%, 18% and 27%, concluding that the application of bioplastic containing malt bagasse composite resulted in a lower occurrence of rot and leakage in the fruits, in addition to providing low permeability results in the bioplastic base. The analyses indicated that the application of bioplastics containing any amount of malt bagasse resulted in a lower occurrence of rot and leakage in the fruits. In Chapter 6, a diverse range of active ingredients were applied to bioplastic packaging containing malt bagasse: iron oxide; zeolite nanoclay, thymol essential oil and alpha-tocopherol incorporated into starch-based packaging associated with malt bagasse for the storage of minimally processed pumpkin for 12 days. Tocopherol resulted in less browning of the pulp, in addition to the thyme essential oil and iron oxide preserving moisture and presenting a lower rate of noticeable softening progression during storage. The general conclusions in Chapter 7 highlighted the effect resulting from the action of mint and thyme essential oils.

Keywords: Green technology. Agro-industrial waste. Perishable products.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Organograma dos experimentos inéditos executados em hortifrúti durante a tese.....	24
Figura 1.2	Fotomicrografia de grânulos de amido de mandioca.....	41
Figura 1.3	Frutas do mirtilo sobre fundo branco.....	53
Figura 1.4	Ilustração botânica apresentando aspecto do mirtileiro, apresentando folhas, caules, flores, semente e fruto.....	54
Figura 1.5	Embalagens plásticas contendo mirtilo dispostas em uma caixa maior de madeira.....	56
Figura 1.6	Foto em close de uma fruta do tipo ameixa europeia fotografada no campo de produção no sul da Alemanha.....	57
Figura 1.7	Desenho botânico de ameixa europeia da variedade Tucker.....	59
Figura 1.8	Ameixas do tipo Baronesse armazenadas em caixas em câmara fria.....	61
Figura 1.9	Foto registrada em <i>close</i> das amoras-tupi.....	64
Figura 1.10	Imagem catalográfica da amora frutificada em ramo de amoreira (espécie <i>Rubus fruticosus</i> L.).....	65
Figura 1.11	Amoras frescas recém-colhidas prontas para o acondicionamento.....	69
Figura 1.12	Abóboras de pescoço da variedade “Menina Rajada” logo após a colheita durante o transporte do campo.....	70
Figura 1.13	Ilustração demonstrando características botânicas da família das cucurbitáceas.....	72
Figura 1.14	Abóbora de pescoço após etapa de processamento mínimo em corte de meia lua.....	74
Figura 2.1	Amidos de mandioca empregados no veículo bioplástico para óleo essencial.....	79
Figura 2.2	Bagaço de malte condicionado para secagem em estufa.....	80
Figura 2.3	Bagaço de malte após a secagem e antes do processo de moagem.....	80
Figura 2.4	Material retido do processo de peneiramento de bagaço moído, a fim de uniformizar o tamanho de compósito.....	81

Figura 2.5	Moedor de grãos apresentando aspecto do bagaço de malte após processo de moagem.....	81
Figura 2.6	Amido termoplástico prensado em prensa térmica.....	82
Figura 2.7	Gráfico de barras da permeabilidade ao vapor de água ($\text{g.m}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{s}^{-1}$) dos materiais biodegradáveis.....	92
Figura 2.8	Espectros de FTIR dos diferentes compósitos.....	94
Figura 2.9	Microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo nas amostras.....	96
Figura 2.10	Curvas TGA e dTG para diferentes formulações de amido termoplástico.....	99
Figura 2.11	Aspecto da leira de compostagem no dia 0 e no dia 28.....	103
Figura 2.12	Evolução da temperatura nas composteiras.....	104
Figura 2.13	Dinâmica do pH das composteiras.....	107
Figura 2.14	Dinâmica da umidade das composteiras.....	109
Figura 2.15	Dinâmica da matéria orgânica das composteiras.....	111
Figura 3.1	Aplicação de 1 mL de óleo essencial de menta em embalagem utilizada no tratamento.....	121
Figura 3.2	Embalagens de mirtilo com aplicação de óleo essencial de menta fechadas.....	122
Figura 3.3	Mirtilos alocados no equipamento.....	124
Figura 3.4	Gráfico de variação de perda de massa (%) por dias de armazenamento dos mirtilos.....	132
Figura 3.5	Mapa de calor dos aromas do mirtilo armazenado sob diferentes tratamentos no 15° dia de armazenamento.....	138
Figura 3.6	Mapa de calor dos aromas do mirtilo armazenado sob diferentes tratamentos no 28° dia de armazenamento.....	139
Figura 4.1	Processo de aleatorização dos frutos das caixas de madeira para as caixas empregadas no experimento.....	146
Figura 4.2	Tratamento Controle.....	148
Figura 4.3	Tratamento Bioplástico.....	148
Figura 4.4	Imersão das ameixas em solução filmogênica para o tratamento Recobrimento.....	149

Figura 4.5	Caixas com ameixas tratadas e armazenadas em gavetas na estrutura de câmara fria.....	150
Figura 4.6	Análise de firmeza da ameixa.....	151
Figura 4.7	Escala de notas para avaliação de escurecimento de polpa de ameixa.....	154
Figura 4.8	Foto ampliada do aspecto da esporulação fúngica do tratamento Bioplástico.....	155
Figura 4.9	Gráfico cinético de variação de pH durante o armazenamento de ameixa europeia.....	168
Figura 5.1	Embalagens contendo amora.....	177
Figura 5.2	Gráfico da perda de massa em diferentes embalagens com amora.....	195
Figura 5.3	Gráfico da variação de pH em diferentes embalagens com amora.....	197
Figura 6.1	Gleba de plantio da abóbora de pescoço.....	203
Figura 6.2	Planta de abóbora em estágio inicial de desenvolvimento.....	204
Figura 6.3	Aspecto das mudas desenvolvidas demonstrando espaçamento adotado.....	204
Figura 6.4	Bases bioplásticas prontas para a montagem de embalagem...	206
Figura 6.5	Abóboras cortadas em meia lua sobre diferentes materiais biodegradáveis prontas para a embalagem.....	206
Figura 6.6	Embalagens de abóboras submetidas aos tratamentos.....	207
Figura 6.7	Determinação de firmeza de abóbora minimamente processada	208
Figura 6.8	Gráfico cinético do pH da abóbora durante o armazenamento...	215
Figura 6.9	Gráfico da perda de massa (%) de abóbora durante o armazenamento.....	217
Figura 6.10	Embalagem e abóbora no 16º dia de armazenamento.....	219

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1	Questões norteadoras da pesquisa.....	23
Quadro 1.2	Valores centesimais do bagaço de malte cervejeiro (em 100 g)....	43
Quadro 2.1	Proporções utilizadas para as embalagens biodegradáveis*.....	83
Quadro 2.2	Proporções de ingredientes dos bioplásticos avaliados durante o teste de biodegradabilidade.....	87
Quadro 3.1	Dimensões das embalagens de papel e de plástico.....	122
Quadro 3.2	Tratamentos aplicados no mirtilo.....	122
Quadro 4.1	Avaliação de qualidade visual com gradiente de cor.....	169
Quadro 5.1	Proporções utilizadas para as embalagens biodegradáveis.....	176
Quadro 5.2	Reversão da drupeleta para o vermelho (RDV) (%) das amostras submetidas aos diferentes tratamentos.....	191
Quadro 5.3	Avaliação da percepção do amolecimento das amoras em diferentes embalagens.....	193
Quadro 5.4	Avaliação de detecção de vazamento em amoras em diferentes embalagens (%).....	193
Quadro 5.5	Avaliação de detecção de amoras apresentando apodrecimento na embalagem (%).....	194
Quadro 6.1	Proporções utilizadas para as embalagens biodegradáveis contendo ingrediente ativo e aplicável em abóbora.....	205
Quadro 6.2	Avaliação visual do nível de amolecimento perceptível em abóbora durante o armazenamento avaliado sob escala subjetiva.....	218

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Espessura (mm) e solubilidade (%) dos materiais biodegradáveis.....	90
Tabela 3.1	Parâmetros de cor do mirtilo.....	128
Tabela 3.2	Parâmetro firmeza do mirtilo.....	129
Tabela 3.3	Parâmetro acidez total titulável do mirtilo.....	130
Tabela 3.4	Parâmetro sólidos solúveis totais do mirtilo.....	131
Tabela 3.5	Glicose, sacarose e frutose detectável no mirtilo.....	133
Tabela 3.6	Teores de ácido cítrico, ácido L-málico e succínico no mirtilo..	136
Tabela 4.1	Resultados obtidos para o parâmetro de cor exterior.....	157
Tabela 4.2	Resultados obtidos para o parâmetro cor do interior da ameixa	159
Tabela 4.3	Resultados obtidos de parâmetro firmeza da ameixa.....	161
Tabela 4.4	Resultados obtidos para o parâmetro sólidos solúveis totais da ameixa.....	162
Tabela 4.5	Resultados obtidos de parâmetro acidez total titulável da ameixa.....	163
Tabela 4.6	Açúcares da ameixa.....	166
Tabela 5.1	Resultados de firmeza dos frutos (N) de amora.....	182
Tabela 5.2	Parâmetro L das amostras de amora.....	184

Tabela 5.3	Parâmetro a* das amostras de amora.....	185
Tabela 5.4	Parâmetro b* das amostras de amora.....	186
Tabela 5.5	Sólidos solúveis totais das amostras de amora.....	188
Tabela 5.6	Umidade das amostras de amora.....	189
Tabela 5.7	Acidez total titulável (em % de ácido cítrico) das amostras de amora.....	190
Tabela 6.1	Firmeza (N) das amostras de abóbora.....	210
Tabela 6.2	Parâmetro *L das amostras de abóbora.....	211
Tabela 6.3	Parâmetro a* das amostras de abóbora.....	213
Tabela 6.4	Parâmetro b* das amostras de abóbora.....	214
Tabela 6.5	Acidez total titulável das amostras de abóbora.....	214
Tabela 6.6	Umidade das amostras de abóbora.....	216

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	21
	APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DA TESE.....	22
	OBJETIVO GERAL.....	25
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
CAPÍTULO 1	REVISÃO DE LITERATURA.....	26
1.1	INOVAÇÕES SUSTENTÁVEIS.....	27
1.1.1	Breve Histórico e Cenário Contemporâneo.....	27
1.1.2	Modelos Econômicos Sustentáveis e a Promoção de Bioplásticos Biodegradáveis.....	31
1.2	FRUTAS E VEGETAIS NA PÓS-COLHEITA.....	34
1.2.1	Breve Cenário Nacional e Desafios Contemporâneos.....	34
1.2.2	Conceitualizando Minimamente Processados e <i>In Natura</i> : Qual a Diferença?.....	36
1.3	MATERIAIS BIOPLÁSTICOS E SUAS MATÉRIAS-PRIMAS.....	39
1.3.1	Conceitos e Objetivos do Desenvolvimento de Bioplásticos.....	39
1.3.2	Amido de Mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz).....	40
1.3.3	Bagaço de Malte.....	42
1.4	EMBALAGENS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS.....	44
1.4.1	Embalagens Convencionais.....	44
1.4.2	Embalagens Biodegradáveis.....	45
1.4.3	Embalagens Ativas e Ingredientes Ativos Aplicados em Hortifrúti.....	46
1.4.3.1	Nanoargilas zeólitas.....	47
1.4.3.2	Óleos essenciais.....	48
1.4.3.3	Óxido de ferro.....	51
1.5	PRODUTOS ALIMENTÍCIOS HORTIFRÚTI.....	52
1.5.1	Mirtilo (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.).....	52
1.5.1.1	Aspectos botânicos e breve histórico.....	52
1.5.1.2	Pós-colheita e processamento mínimo de mirtilo.....	55
1.5.2	Ameixa Europeia (<i>Prunus domestica</i> L.).....	57
1.5.2.1	Aspectos botânicos e breve histórico.....	57
1.5.2.2	Pós-colheita e processamento mínimo de ameixa.....	60

1.5.3	Amora-preta (<i>Morus nigra</i> L.).....	62
1.5.3.1	Aspectos botânicos e breve histórico.....	62
1.5.3.2	Pós-colheita e processamento mínimo de amora.....	67
1.5.4	Abóbora de Pescoço (<i>Cucurbita moschata</i> Duch.).....	69
1.5.4.1	Aspectos botânicos e breve histórico.....	69
1.5.4.2	Pós-colheita e processamento mínimo de abóbora.....	73
CAPÍTULO 2	DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS A	
	BASE DE AMIDO E BAGAÇO DE MALTE.....	76
2.1	INTRODUÇÃO.....	77
2.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	78
2.2.1	Materiais	78
2.2.2	Métodos.....	79
2.2.2.1	Processamento do bagaço de malte.....	79
2.2.2.2	Elaboração das embalagens biodegradáveis.....	82
2.2.2.3	Caracterização do compósito bioplástico.....	83
2.2.2.3.1	<i>Espessura e dimensões</i>	83
2.2.2.3.2	<i>Solubilidade</i>	83
2.2.2.3.3	<i>Permeabilidade ao vapor de água (PVA)</i>	84
2.2.2.3.4	<i>Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)</i>	84
2.2.2.3.5	<i>Microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo (MEV-FEG)</i>	85
2.2.2.3.6	<i>Análise termogravimétrica (TGA)</i>	85
2.2.2.3.7	<i>Propriedades mecânicas</i>	85
2.2.2.3.8	<i>Determinação dos parâmetros de compostagem dos compósitos</i>	86
2.2.2.3.9	<i>Análise Estatística</i>	88
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
2.3.1	Espessura e Dimensões.....	89
2.3.2	Solubilidade.....	89
2.3.3	Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA).....	91
2.3.4	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	93

2.3.5	Microscopia Eletrônica de Varredura com Emissão de Campo (MEV-FEG).....	96
2.3.6	Termogravimetria.....	99
2.3.7	Propriedades Mecânicas dos Compósitos.....	101
2.3.8	Compostagem.....	103
2.4	CONCLUSÃO.....	116
CAPÍTULO 3	USO DO OLEO ESSENCIAL DE MENTA NO ARMAZENAMENTO DE MIRTILO.....	118
3.1	INTRODUÇÃO.....	119
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	120
3.2.1	Materiais.....	120
3.2.2	Métodos.....	121
3.2.2.1	Montagem das embalagens de mirtilo.....	121
3.2.2.2	Acondicionamento das amostras.....	123
3.2.3	Parâmetros Físico-Químicos dos Frutos.....	123
3.2.3.1	Determinação da cor.....	123
3.2.3.2	Firmeza.....	123
3.2.3.3	Acidez total titulável.....	124
3.2.3.4	Sólidos solúveis totais.....	125
3.2.3.5	Perda de massa dos frutos.....	125
3.2.3.6	Caracterização e quantificação de açúcares.....	125
3.2.3.7	Caracterização e quantificação de ácidos orgânicos.....	126
3.2.3.8	Análise de compostos voláteis.....	126
3.2.4	Análise Estatística.....	127
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	128
3.3.1	Determinação da Cor.....	128
3.3.2	Firmeza.....	129
3.3.3	Acidez Total Titulável.....	129
3.3.4	Sólidos Solúveis Totais.....	130
3.3.5	Perda de Massa dos Frutos.....	131
3.3.6	Caracterização e Quantificação de Açúcares.....	132
3.3.7	Caracterização e Quantificação de Ácidos Orgânicos.....	134
3.3.8	Análise de Compostos Voláteis.....	138

3.4	CONCLUSÃO.....	142
CAPÍTULO 4	APLICAÇÃO DE BIOPLÁSTICO ATIVO EM AMEIXA EUROPEIA MINIMAMENTE PROCESSADA.....	143
4.1	INTRODUÇÃO.....	144
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	145
4.2.1	Materiais.....	145
4.2.2	Métodos.....	146
4.2.3	Análises Físico-Químicas das Frutas Embaladas.....	150
4.2.3.1	Cor.....	150
4.2.3.2	Firmeza.....	151
4.2.3.3	Sólidos solúveis totais.....	151
4.2.3.4	Acidez total titulável.....	152
4.2.3.5	pH.....	152
4.2.3.6	Análise de açúcares.....	152
4.2.3.7	Qualidade visual.....	153
4.2.4	Análise estatística.....	154
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	155
4.3.1	Comportamento Geral dos Tratamentos Durante o Armazenamento do Fruto.....	155
4.3.2	Cor.....	156
4.3.3	Firmeza.....	161
4.3.4	Teor de Sólidos Solúveis Totais.....	161
4.3.5	Acidez Total Titulável.....	163
4.3.6	Caracterização de Açúcares.....	164
4.3.7	pH.....	167
4.3.8	Qualidade Visual.....	168
4.4	CONCLUSÕES.....	172
CAPÍTULO 5	ACONDICIONAMENTO DE AMORA-PRETA EM EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL A BASE DE AMIDO E BAGAÇO DE MALTE.....	174
5.1	INTRODUÇÃO.....	175
5.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	175
5.2.1	Materiais.....	175
5.2.2	Acondicionamento das Amostras.....	176

5.2.3	Análises Físico-químicas e Subjetivas dos Frutos Embalados.....	177
5.2.3.1	Firmeza.....	177
5.2.3.2	Cor.....	178
5.2.3.3	Sólidos solúveis totais.....	178
5.2.3.4	Umidade.....	178
5.2.3.5	Acidez total titulável.....	178
5.2.3.6	Reversão da drupa para o vermelho.....	179
5.2.3.7	Amolecimento.....	179
5.2.3.8	Vazamento.....	180
5.2.3.9	Apodrecimento.....	180
5.2.3.10	Perda de massa.....	180
5.2.3.11	pH.....	180
5.2.4	Análise Estatística.....	181
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	181
5.3.1	Firmeza.....	181
5.3.2	Cor.....	183
5.3.3	Sólidos Solúveis Totais.....	187
5.3.4	Umidade.....	189
5.3.5	Acidez Total Titulável.....	189
5.3.6	Reversão da Drupeleta para o Vermelho.....	191
5.3.7	Amolecimento.....	191
5.3.8	Vazamento.....	193
5.3.9	Apodrecimento.....	194
5.3.10	Perda de massa.....	195
5.3.11	pH.....	196
5.4	CONCLUSÃO.....	197
CAPÍTULO 6	USO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS ATIVAS EM	
	ABÓBORA DE PESCOÇO MINIMAMENTE PROCESSADA.....	199
6.1	INTRODUÇÃO.....	200
6.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	202
6.2.1	Materiais.....	202
6.2.1.1	Plantio, colheita e processamento mínimo da hortaliça utilizada.....	202
6.2.1.2	Seleção do material biodegradável	204

6.2.1.3	Acondicionamento das amostras.....	205
6.2.2	Métodos.....	207
6.2.2.1	Firmeza.....	207
6.2.2.2	Cor.....	208
6.2.2.3	Acidez total titulável.....	208
6.2.2.4	pH.....	208
6.2.2.5	Umidade.....	209
6.2.2.6	Perda de massa.....	209
6.2.2.7	Amolecimento.....	209
6.2.4	Análise Estatística.....	209
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	210
6.3.1	Firmeza.....	210
6.3.2	Cor.....	211
6.3.3	Acidez Total Titulável.....	214
6.3.4	pH.....	215
6.3.5	Umidade.....	215
6.3.6	Perda de Massa.....	216
6.3.7	Amolecimento.....	217
6.4	CONCLUSÃO.....	219
CAPÍTULO 7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	221
7.1	COMENTÁRIO SOBRE AS CONCLUSÕES.....	221
7.2	PERSPECTIVAS FUTURAS.....	222
7.3	SÍNTESE INTEGRATIVA.....	226
	REFERÊNCIAS.....	227

INTRODUÇÃO

O estabelecimento da plena segurança alimentar é uma necessidade global de magna importância na idade contemporânea. Questões referentes ao abastecimento de alimentos afligem grande porcentagem da população mundial, havendo argumento por Kowalska (2015) de que o aumento da produção de alimentos no mundo não tem sido suficiente para sanar a fome global.

Concomitantemente, números atuais denunciam uma situação preocupante do ponto de vista ecológico e social, estima-se que entre 60 e 99 milhões de toneladas métricas de lixo plástico, manejado inadequadamente, foram produzidos em 2015 (Lebreton; Andrady, 2019). Desta forma, a oferta de produtos alimentícios frescos e a necessidade de mitigar a quantidade massiva de plásticos não biodegradáveis no meio ambiente, são problemas de ocorrência concomitante, inter-relacionáveis e urgentes.

Embalagens ativas bioplásticas buscam a solução dos problemas gerados pela indústria de plástico convencionais bem como enseja mitigar as perdas alimentícias decorrentes da pós-colheita. O desenvolvimento de uma embalagem a base de amido de mandioca, associada ao resíduo agroindustrial proveniente do bagaço de malte, e visando a utilização em alimentos minimamente processados é o foco deste trabalho.

Este é totalmente biodegradável e será empregado como bandeja de suporte, passível de substituir o tradicional poliestireno expandido (Isopor®) empregado comercialmente. Adicionalmente, a aplicação de ingredientes ativos de variadas naturezas pode beneficiar ou prolongar o armazenamento de produtos perecíveis como os hortifrútiis.

APRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DA TESE

A tese foi estruturada em sete capítulos, os quais buscam investigar diferentes técnicas relacionadas ao uso de embalagens biodegradáveis e ingredientes ativos na pós-colheita de diferentes frutas e hortaliças. O capítulo inicial é exclusivo para revisão de literatura engenhada na definição da justificativa dos termos de pesquisa, almejando a definição de conceitos e direcionamento da pesquisa.

De antemão, o segundo capítulo já exhibe todas as elaborações biopoliméricas delineadas durante o projeto de doutorado, contado com a demonstração dos materiais e metodologias aplicados, caracterização da estrutura morfológica, estudo das propriedades térmicas e propriedades mecânicas além da aplicação continuada de soluções para pós-colheita.

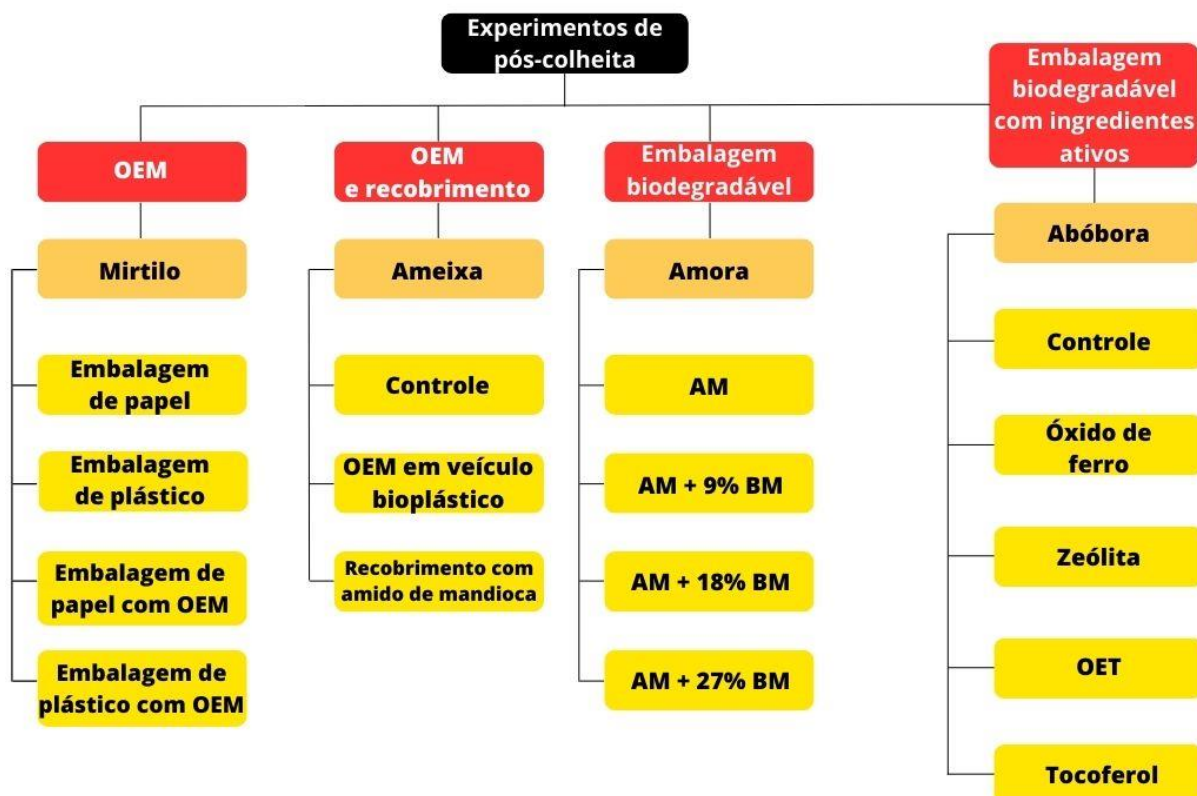
Do terceiro até o sexto capítulo houve a busca por uma abordagem evolutiva e segmentada de técnicas aplicáveis na pós-colheita de frutas e hortaliças, obtendo resultados e discutindo a aplicabilidade de cada metodologia. Os capítulos foram ordenados por meio de uma escala evolutiva que visa desenvolver uma embalagem ativa biodegradável. O sétimo e último capítulo busca postular conclusões resultantes dos quatro experimentos envolvendo hortifrúti, estabelece discussão das implicações práticas que o trabalho pode favorecer em termos sociais e macroeconômicos além de apontar direções oportunas a serem considerados pela academia.

Uma vez que o trabalho apresentou diversidade de abordagens e estende-se por sete capítulos, as questões norteadoras de pesquisa foram coletadas e manejadas em quadro ilustrativo (Quadro 1.1) para efeito de simplificação das pretensões do conjunto da obra. A fim de se cumprir cada objetivo específico listado, a obra inicia-se com uma revisão de literatura (capítulo 1), o período intermediário de análise do bioplástico (capítulo 2) e aplicação em escala evolutiva e linear do bioplástico e dos ingredientes ativos em sequência linear de experimentos aplicados em frutas (mirtilo, ameixa e amora) e hortaliça (abóbora de pescoço) (Figura 1.2) (capítulo 3, 4, 5 e 6) e o desfecho integrando as respostas encontradas (capítulo 7) que integra caráter heterogêneo de hortifrúti analisados.

Quadro 1.1 - Questões norteadoras da pesquisa

Quadro 1.1 – Questões norteadoras da pesquisa		
PRESSUPOSTOS INVESTIGATIVOS		
A fome, os desertos alimentares e as perdas alimentícias são problemas mundiais. Poluição de plásticos em níveis alarmantes.	Minimamente processados são frágeis ante estocagens longas, havendo prejuízos a sua qualidade.	Os efeitos do uso de embalagens ativas biopoliméricas são perceptíveis e podem ser uma resposta que une sustentabilidade, eficácia e viabilidade para a pós-colheita.
QUESTÃO CENTRAL		
Abordagens inéditas fazendo uso de embalagens bioplásticas biodegradáveis associadas com compostos derivados de subprodutos cervejeiros e ingredientes ativos podem ser viáveis e efetivas na pós-colheita de frutas e hortaliças?		
QUESTÕES NORTEADORAS		
Como desenvolver uma bioembalagem contendo subprodutos cervejeiros que contenham ingredientes ativos em sua composição?	Quais os efeitos nos alimentos dos ingredientes ativos testados?	
OBJETIVO GERAL		
Desenvolver embalagens ativas biodegradáveis com subprodutos da indústria cervejeira aplicáveis em hortifrúti.		
OBJETIVOS ESPECÍFICOS		
Cumprimento de cada etapa da tese, dividida em capítulos.		
TESE		
É promissor criar embalagens de material degradável biopolimérico com adição de bagaço de malte na formulação passível de ser aplicado em conjunção com ingredientes ativos para propiciar efeitos benéficos na armazenagem de hortifrúti.		

Figura 1.1 - Organograma dos experimentos inéditos executados em hortifrúti durante a tese



Legenda das abreviações:

OEM: Óleo essencial de menta;

AM: Amido de mandioca;

BM: Bagaço de malte;

OET: Óleo essencial de tomilho.

Legenda de cores:

Preto: Tipo de experimento;

Vermelho: Descrição da técnica de conservação de alimento empregada;

Laranja: Alimento utilizado nas avaliações;

Amarelo: Descrição individualizada de cada tratamento testado no hortifrúti em questão.

OBJETIVO GERAL

Desenvolver embalagens ativas biodegradáveis com subproduto da indústria cervejeira aplicáveis em alimentos hortifrúti.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Construir revisão de literatura abrangendo a questão contemporânea dos plásticos, sobre os avanços dos bioplásticos e os diferentes hortifrúti trabalhados.

Analisar o material protótipo biodegradável composto por amido de mandioca associado ao bagaço de malte.

Aplicar tratamento de óleo essencial em embalagens de plástico e papel no armazenamento refrigerado de mirtilo.

Aplicar tratamento de óleo essencial e recobrimento amiláceo em veículo amidoplástico biodegradável na armazenagem refrigerada de ameixa.

Aplicar embalagem amidoplástica sob diferentes concentrações de bagaço do malte para a armazenagem de amora refrigerada.

Aplicar embalagem amidoplástica associada com bagaço de malte contendo ingredientes ativos para a armazenagem de abóbora minimamente processada refrigerada.

Estabelecer conclusão de tese com síntese integradora.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

É de grande valia a exploração de polímeros biodegradáveis frente aos problemas pertinentes à poluição dos plásticos convencionais. É primordial o devido suporte teórico em relação às embalagens fabricadas com matérias-primas de origem vegetal tendo em vista a situação contemporânea em escala global da poluição dos plásticos convencionais, que favorece o desenvolvimento tecnológico de bioplásticos como um caminho viável para a sustentabilidade ecológica, podendo inclusive fazer uso de resíduos da indústria alimentícia como o bagaço de malte. Adjunto a esse fato, ocorre a ampla exploração das possibilidades oferecidas pelos ingredientes ativos. Estes são substâncias passíveis de propiciar efeitos benéficos na armazenagem de alimentos. Destaca-se os produtos hortifrutigranjeiros do mirtilo, da ameixa, da amora e da abóbora de pescoço que podem ser comercializados apresentando-se prontos para o consumo e fazendo uso somente de processamentos simples de baixa intensidade e mantendo frescor, seja como alimentos minimamente processados ou *in natura*. A importância desta temática se dá pela promoção da alimentação saudável como medida de saúde pública com impactos benéficos para as populações. O desenvolvimento de embalagens bioplásticas em conjunto com tecnologias de embalagens ativas pode propiciar o prolongamento da vida útil de alimentos perecíveis.

Palavras-chave: Conservação de alimentos; Plásticos amiláceos; Hortifrútigranjeiro.

ABSTRACT

The exploration of biodegradable polymers is of great value in the face of problems related to pollution from conventional plastics. Proper theoretical support regarding packaging manufactured with raw materials of plant origin is essential, given the current global situation of pollution from conventional plastics, which favors the technological development of bioplastics as a viable path to ecological sustainability, and which may even make use of waste from the food industry such as malt bagasse.

In addition to this fact, there is a broad exploration of the possibilities offered by active ingredients. These substances can provide beneficial effects in food storage. Of note are the fruit and vegetable products of blueberries, plums, blackberries and pumpkin, which can be marketed ready for consumption and using only simple, low-intensity processing and maintaining freshness, whether as minimally processed or natural foods. The importance of this topic is due to the promotion of healthy eating as a public health measure with beneficial impacts for the population. The development of bioplastic packaging in conjunction with active packaging technologies can extend the shelf life of perishable foods.

Keywords: Food preservation; Starchy plastics; Fruits and vegetables.

1.1 INOVAÇÕES SUSTENTÁVEIS

1.1.1 Breve Histórico e Cenário Contemporâneo

Quando tratamos da definição do que é uma inovação tecnológica no mundo contemporâneo, pode se verificar a adoção de diversas identificações, podendo a inovação ser a pesquisa e desenvolvimento de produto, um novo uso para um produto ou serviço, mudanças na forma de exploração de mercado, inovação logística ou operacional, entre outras identidades (Johnson, 2001). Explorando com maior exatidão uma definição para inovações de produtos, o Manual de Oslo (1997) categoriza essa vertente inovativa como a introdução de um bem inédito ou aperfeiçoado no que diz respeito a suas funções ou características, como por exemplo, o de componentes e materiais.

A categorização de inovações é estabelecida mediante a avaliação do seu grau de impacto, podendo este ser incremental, radical ou disruptivo (Tidd, 2001). Contudo, faz sentido também considerar a análise histórica no que tange a velocidade da adoção de tecnologias em âmbito comercial, onde o estudo bibliográfico indica que a descoberta de novas tecnologias inovadoras é comumente associada a uma velocidade lenta de difusão da mesma na sociedade, e que a viabilidade comercial se dá justamente devido a implementação de melhorias tecnológicas (Rosenberg, 1972). A partir desses estudos, podemos entender que o estudo continuado de novas

tecnologias é fundamental para que estas sejam viabilizadas e possam impactar na sociedade.

Quando se fala de benefícios para o desenvolvimento econômico e social dos países provenientes da inovação, é importante a ressalva preliminar de que essa discussão pode ser complexa e envolver diversos pontos de vista a serem debatidos. Ainda assim, é possível encontrar no mundo acadêmico trabalhos que demonstram um retrospecto positivo das políticas de inovação tecnológica para o desenvolvimento no último século em diversos países (Medeiros, 2007). Ao se debruçar em autores que tratam sobre as inovações tecnológicas na sociedade capitalista, artigos dessa área destacam os escritos dos economistas Marshall (Mattos, 2011) e de Shumpeter (Paiva *et al.*, 2018) como conhecimento valioso para o entendimento da inovação na sociedade contemporânea.

Marshall é reconhecido por uma postura de preocupação com a continuidade do processo inventivo, vislumbrando uma possível estagnação por conta da falta de políticas que impulsionem esse tipo de ação no processo produtivo (Mattos, 2011). Já Shumpeter eleva as inovações tecnológicas a um patamar de importância aonde estas são consideradas como fundamentais para a sobrevivência do sistema capitalista (Paiva *et al.*, 2018), sendo esse mesmo autor o responsável pela criação do termo “destruição criadora” definido por ele e por neoshumpeterianos, onde processos inventivos mudam drasticamente setores, empresas, indústrias e podem até mesmo, em alguns casos, abalar sistemas econômicos (Felipe; Martins, 2016). Ainda que essa discussão demande um debate amplo e exploração em maior profundidade de diversas fontes que avaliem o retrospecto sociológico, antropológico e historiográfico das inovações, fica iniludível que autores em evidência na academia já elencaram facetas das inovações tecnológicas que demonstram como estas podem ser pontos chaves para o futuro da humanidade.

Uma grande inovação a ser citada na história é definitivamente o plástico, sendo um material inventado no começo do século XX e que teve seu apogeu 100 anos mais tarde (Chalmin, 2019). Mesmo levando em consideração que os plásticos tiveram o início de sua produção em massa apenas nos últimos 60 anos, é notável o quanto estes impactaram quase todos os aspectos da vida cotidiana da maior parte dos seres humanos nas últimas década, sendo estes materiais notáveis devido a sua versatilidade, leveza, durabilidade e baixo custo (Baztan *et al.*, 2017). Diferentes tipos

de polímeros a serem substitutos dessa categoria de polímero necessitam incorporar tais qualidades, o que requer estudo e desenvolvimento científico focado na temática. Contudo, o mesmo se mostra como um problema ambiental de escala global, sendo a sua erradicação um dos maiores desafios do século XXI (Chalmin, 2019).

Conforme levantamento histórico do instituto Data Et Cetera (2021), o surgimento dos plásticos comerciais advém do cenário pungente de crescimento industrial estadunidense verificado ao final do século XIX¹. Tal bibliografia relata que a ascensão dos plásticos sintéticos inicia-se em virtude de uma preocupação de caráter “preservacionista” da época. A produção norte-americana aliada ao aumento de riquezas impulsionou a indústria de bens de consumo de luxo como pianos para uso doméstico e mesas de bilhares. A maior demanda por estas categorias de produtos impulsionaram o consumo de uma matéria-prima conhecida como marfim. O marfim é extraído das presas de elefantes, sendo um problema o declínio da população destes animais. Em virtude da escassez do marfim, empresários propuseram uma competição premiando quem descobrisse um material de alta qualidade que pudesse substituí-lo. O ano de 1870 torna-se importante para a “Idade dos Plásticos”, sendo quando John Wesley Hyatt apresenta nessa disputa uma blenda nitrocelulósica. Tal celulóide modificado é o primeiro plástico aplicável em escala comercial da Era Vitoriana para uma diversidade de produtos (Callapez, 2021).

Muitas evidências apontam a envergadura do problema da poluição plástica. Em estudo que monitorou o nível de deposição de partículas de plástico no fundo de oceanos, foram obtidos indícios demonstrando o acréscimo exponencial desse resíduo entre os anos de 1945 e 2009 (Brandon; Jones; Ohman, 2019). Tal achado permite a reflexão de que a marca civilizacional atual remete a poluição plástica, o que deve ser repensado e solucionado. O uso de materiais biodegradáveis como matéria-prima como alternativas para os plásticos sintéticos convencionais figura como uma alternativa viável mediante a análise do panorama (Thompson *et al.*, 2009).

Tendo isso em consideração, torna-se necessário declarar que o desenvolvimento tecnológico e científico deve seguir padrões éticos e sustentáveis, sendo essa forma de pensar difundida na atualidade e muito apreciável visto as consequências analisadas historicamente em outros períodos de desenvolvimento tecnológico. Dois exemplos veem à tona quando ao mencionar o tema: Revolução

¹ Na historiografia estadunidense, esse período é denominado como *America's Gilded Age*.

Industrial e Revolução Verde. Ainda que a Revolução Industrial no século XVIII, iniciada na Inglaterra, tenha sido documentada historicamente como causa principal do incremento exponencial na produção de bens de consumo com maior acessibilidade de preços (Cavalcante; Silva, 2011), bem como a mais recente revolução verde iniciada na década de 50 do último século, conjunto de avanços tecnológicos de grande impacto no setor agrícola, que possibilitaram produtos alimentícios 70% mais baratos à partir da década de 70 (Paiva; Carneiro, 2000).

Apesar dos benefícios advindos desses movimentos de disrupções tecnológicas na humanidade, ambos são criticados em análises posteriores sob uma ótica sustentável e ambientalista. Dentre a história dos problemas ambientais, são documentados várias incorrências ambientais como resultantes do legado da Revolução Industrial (Hanlon, 2016; Mosley, 2014; Williams, 2005) bem como várias análises que ponderam efeitos da Revolução Verde no meio ambiente (Ameen; Raza, 2017; Gollin; Hansen; Wingender, 2018). Mesmo que ambos os exemplos tenham atingido resultados esplêndidos, os quais modificaram enormemente o modo de vida de um grande contingente da população global, é imperativo priorizar um desenvolvimento tecnológico que não repita problemas decorrentes de visões anteriores que não objetivaram um viés de desenvolvimento tecnológico sustentável.

A bibliografia teoriza um futuro onde o capitalismo unirá o desenvolvimento econômico com o cuidado ambiental (Abramovay, 2012), sendo essa uma fonte também considerada em um estudo amplo de Pinsky e Kruglianskas (2017), que verificaram a tecnologia disponível e a capacidade de inovação orientada para a sustentabilidade no setor privado nacional, além de caracterizar a importância de políticas públicas e demandas de mercado para o fomento deecoinovações.

Ainda que se tenha muitos problemas detectados em ambos os setores público e privado no que diz respeito ao investimento para inovações competitivas, o que demanda ainda um caminho contínuo de aperfeiçoamento que o país precisa seguir para poder avançar em via de um patamar ideal (Freire; Maruyama; Polli, 2017). O estudo de Ferreira, Hasner e Santos (2016) analisou tecnologias ambientalmente responsáveis patenteadas no Brasil, as chamadas patentes verdes, e indicou que por parte de empresas e inventores, existe a tendência de se adotar esse tipo de tecnologia, se valendo destas como uma forma de diferenciação e que beneficia a competitividade para atuar no mercado.

Em uma análise recente que se propôs em avaliar os atores participantes do sistema nacional brasileiro de ciência, tecnologia e inovação, é destacada a crescente importância dos órgãos de financiamento federais e regionais para a inovação, bem como a ocorrência de novos modelos de cooperação que envolvam instituições de pesquisa e instituições de ensino superior (Ikenami; Garnica; Ringer, 2016). O uso estrutural, financeiro e intelectual de tais instituições devem ser valorizados, de maneira que estas possam propiciar desenvolvimento econômico-social, sempre buscando o contato com agentes da comunidade externa ao ambiente acadêmico, de tal modo que se possa ter inovações que de fato se apresentem como aplicáveis para solucionar os desafiantes problemas reais no mundo.

Buscando adotar a linguagem entendida em termos referentes ao mundo globalizado, podemos entender que são conceituadas como *eco-innovations* (eco-inovações) os processos, produtos ou inovações que produzem impactos mais benignos do ponto de vista ambiental do que as “alternativas relevantes” (Kemp, 2008) viáveis que performam a mesma função da inovação. A visão incutida no presente trabalho está conectada com a tendência observada na historiografia, se orientando sob o cenário delineado previamente e buscando a inovação em via de se aperfeiçoar aplicações e processos pertinentes à tecnologia de embalagem. Uma execução inovadora também pode ser constituída como diferentes aplicações de materiais já consolidados além da abordagem visando o estabelecimento de conclusões práticas para o mercado consumidor.

1.1.2 Modelos Econômicos Sustentáveis e a Promoção de Bioplásticos Biodegradáveis

Investigações recentes referentes aos sistemas macroeconômicos sugerem que a instituição de um modelo de economia circular pode potencialmente agregar em maiores benefícios ao meio ambiente em substituição ao tradicional modelo linear de produção no contexto do Brasil contemporâneo. A pesquisa em pauta insere-se de maneira oportuna, uma vez que um dos gargalos enfrentados para a implementação da economia circular é justamente o baixo número de pesquisas investidas nessa proposta inseridas no contexto brasileiro, sendo interessante a continuidade de pesquisas que avaliem a viabilização do material produzido em encontrar respaldo na

economia (Atalano; Ibiapina; Machado, 2022).

O conceito de economia circular recebe uma apurada conceitualização no livro *Economics of Natural Resources and the Environment* (Pearce; Turner, 1990): onde tal perfil de economia apresenta-se como uma contraposição ao sistema linear e aberto característico do sistema capitalista industrial: Em uma economia circular, ocorre a idealização de um modelo de utilização de energia em sistema fechado circular, onde os fluxos de materiais na energia não são “perdidos” como no sistema linear aberto e sim vislumbram um ciclo onde tanto a produção como o descarte do material apresentam viabilidade ecológica. A proposta da economia circular é a conciliação de preceitos econômicos e proteção ao meio ambiente, sem que haja a descontinuidade de oferta no setor de serviços e de fabricação de produtos. É uma proposta de economia capaz de propiciar um mutualismo entre o empresariado e a sociedade civil em sinergia com a reversão da crise ecológica e promoção da sustentabilidade (Atalano; Ibiapina; Machado, 2022).

Outro termo compreendido nas análises de desenvolvimento sustentável emprega também terminologias como “crescimento verde” e “economia verde”. Essa nova estratégia operacional já é discutida em uma abrangência global e visa concretizar uma mudança do panorama preconcebido do crescimento econômico, pois desde a revolução industrial, o crescimento econômico está relacionado com o prejuízo e degradação do meio ambiente. A economia verde está intimamente ligada com a economia circular e não deve ser resumida a uma agenda de proteção ambiental, mas também deve estar relacionada de maneira sinérgica com toda uma política industrial e educacional, e principalmente com o desenvolvimento de ciência e tecnologia (Dogaru, 2021).

Dentro desse debate oportuno que analisa as possibilidades, alternativas e caminhos em direção de uma conciliação harmônica de um modelo econômico com a preservação da natureza, a substituição dos já citados plásticos convencionais por novos tipos de plásticos passa a ser um ponto chave Bioplásticos devem ser, sobretudo, categorizados como uma das soluções que efetivamente podem sanar o problema mundial da poluição plástica. O efeito benéfico do investimento em bioplásticos frente a acumulação petroplástica não pode ser subestimado. Além do mais, a severa situação referente a conservação de energia e redução de emissão confere aos bioplásticos um caráter estratégico para o desenvolvimento de países que

buscarem por essa tecnologia (Shen *et al.*, 2020).

Contudo, a urgência por soluções não deve dar espaço ao imediatismo ou proporcionar novos tipos de erros, sendo válido e necessário a devida pesquisa que possa atestar a utilidade do material tanto no ponto de vista de aplicação prática bem como também ter o seu aspecto referente ao seu final de vida, verificando os comportamentos que tal material apresenta de vantagem. Não se deve se ater meramente à nomenclatura “bio”, uma vez que o uso de tal termo pode ser um exemplo *buzzwords*² a fim de obter reconhecimento no meio de divulgação científica e técnico sem apresentar com a devida clareza quais as alegações que tornam determinado produto realmente sustentável, sendo a prática da investigação científica o caminho ideal para se entender o que o “bio” em questão representa.

Tal prática, de oferecer produtos supostamente sustentáveis omitindo ou até mesmo escondendo atributos ecologicamente negativos é conhecida como uma das variantes da prática de *greenwashing*³ (Jones, 2019) e já é observada, discutida e condenada na literatura pertinente ao *marketing* sustentável no setor de bioplásticos, onde a falta de critério do uso da tecnologia sem o adequado estudo dos resíduos quando estes passam pelo processo de biodegradação em condições fora das ideais preconizadas em laboratório (Zhu; Wang, 2020). Cita-se também dentro da problemática do *greenwashing* a falta de pesquisa imparcial e comprometida com a ética científica acerca da efetividade ambiental de determinados bens e processos científicos tidos como ambientalmente seguro por parte das empresas (Jones, 2019).

A literatura elenca bioplásticos renováveis e biodegradáveis como detentores de um papel importante na economia circular substituindo plásticos convencionais. Para isso plásticos bio-baseados devem apresentar uma menor pegada de carbono associada à sua fabricação e exibir vantagens do ponto de vista mecânico. Por fim, deve existir o devido manejo de final de vida desses materiais, onde a biodegradação de tais materiais deve ser garantida de maneira favorável ao meio ambiente (Rosenboom; Langer; Traverso, 2022).

² A terminologia inglesa faz referência a palavras em voga repetidas pela grande mídia, geralmente no contexto de comunicações via *internet*. No contexto de inovações tecnológicas, diz respeito às palavras-chave mais utilizados referentes aos últimos desenvolvimentos tecnológicos reportados (Bensaude-Vincent, 2014).

³ Uma definição válida para *greenwashing* (termo guarda-chuva de origem inglesa) é explorada por Jones, onde se é sugerida que tal termo deva ser entendido, primariamente como uma contradição de um discurso ambientalmente ético e a práxis corporativa não seguindo a orientação anunciada (2019).

1.2 FRUTAS E VEGETAIS NA PÓS-COLHEITA

1.2.1 Breve Cenário Nacional e Desafios Contemporâneos

O Brasil ocupa destaque no cenário mundial como grande produtor de alimentos. O comportamento do consumidor tem foco nos quesitos como o sabor, saúde, sofisticação e a mudança do consumidor para dietas mais saudáveis. O consumo de frutas e hortaliças tem aumentado em todo mundo em função da sociedade moderna buscar hábitos de vida mais saudáveis e naturais. Fatores como conveniência e praticidade na hora da compra leva a uma maior demanda por parte dos consumidores por frutas e hortaliças que estejam prontos para o consumo ou que exijam pouco ou nenhum preparo para serem servidos com segurança (Santos, 2015). Outro fenômeno contemporâneo é o aumento do número de refeições fora de casa. É perceptível a existência de um maior peso ao avaliar fatores como praticidade e segurança por parte do consumidor (Embrapa, 2011).

Estima-se que cerca de um terço do que é produzido globalmente como alimento é perdido, sendo contabilizado como 1,3 bilhões de toneladas por ano (Gustavsson *et al.*, 2011). Nos países de baixa renda, as perdas se concentram na agricultura e pós-colheita, enquanto nos países de alto poder aquisitivo, essas perdas se concentram na distribuição e consumo (Kowalska, 2015). A mitigação do desperdício de alimentos em larga escala pode favorecer a redução da fome no mundo, está que possui números alarmantes.

A popularização e conscientização da utilização de alimentos minimamente processados fazem-se imprescindíveis mediante a observância dos fenômenos conhecidos como *Food Deserts*⁴. Expressão que corresponde a aglomerados populacionais os quais não conseguem ter acesso a alimentos frescos e saudáveis, seja por problemas de distribuição de alimento saudável para regiões afastadas, ou pelo alto custo de oferecer o alimento fresco em determinadas regiões (Spears; Powell; Yang, 2014). O mercado de frutas e vegetais frescos tem os atrativos de se apresentar como fresco e saudável. Contudo, observam-se desafios na logística envolvida na pós-colheita desse tipo de produto, principalmente na cadeia de

⁴ Traduzindo para o português, o termo pode ser traduzido como “Deserto Alimentar” (O Autor).

distribuição e de comercialização. Embalagens ativas são consideradas um dos caminhos preferenciais para se poder enfrentar esse desafio (Santos; Oliveira, 2012).

As hipóteses correlacionadas ao aumento do consumo de hortaliças pela população são variadas. Estas enfatizam fatores como a maior conscientização da população em relação aos benefícios destas para a saúde, a maior disponibilidade desse tipo de produto, além do predomínio do trabalho intelectual sobre o mecânico. Paralelamente, observa-se o aumento da demanda de informações sobre armazenamento dos alimentos. Tal necessidade pode ser sintoma da maior distância entre as regiões produtoras e o consumidor por conta do aumento da densidade populacional nos perímetros urbanos do país. Aponta-se também a maior profissionalização tanto da cadeia produtiva como de distribuição, tornando os atores mais ávidos por informação ligada à estocagem de hortaliças (Luengo *et al.*, 2007). De maneira análoga, as frutas também tiveram a sua demanda incrementada por motivos similares.

As frutas e hortaliças são muito afetadas por perdas durante o período de pós-colheita, levando produtores, distribuidores e comerciantes a enormes prejuízos além de comprometer a qualidade de seus produtos aos olhos dos consumidores finais. Soma-se também o fato de que existe uma série de parâmetros de qualidade a serem seguidos por toda a cadeia, tais como a firmeza, turgor, ponto ótimo de colheita de frutas e hortaliças, sendo os requisitos de qualidade de grande importância nesse mercado (Embrapa, 2011). Hortifrúti possuem uma dinâmica metabólica que nos faz entendê-los como organismo vivos. Podem executar a respiração celular, trocar umidade com o meio externo, produzir calor e fitormônios, bem como podem também adoecer ou até mesmo entrar em estágios de putrefação (“morte”).

O armazenamento de hortaliças proporciona vantagens, tais como balancear flutuações decorrentes no mercado em virtude de alterações na oferta diária, além da possibilidade de armazenar tais alimentos por períodos maiores à data de colheita, popularmente conhecido como “época”, regularizando o abastecimento e tornando o preço mais estável. Diferente da dinâmica de armazenamento de cereais, marcados por baixa umidade, o elevado teor de umidade das hortaliça torna maior a sua perecibilidade (Luengo *et al.*, 2007), havendo também vantagens semelhantes para as frutas na pós-colheita, também caracterizadas pela elevada umidade (Embrapa, 2011).

As condições ideais de armazenamento são estipuladas, tradicionalmente, mediante a experiência e observação empírica da armazenagem de frutas. Portanto, as condições são recomendadas em natureza “conservativa”, obedecendo uma margem de segurança, demonstrada em manuais com o da USDA (United States Department of Agriculture), organizado por Brecht (2016). O sucesso durante o armazenamento pode ser influenciado pela observação do ponto de colheita ideal, sanidade de frutas, boa circulação de ar, frutos de tamanho padronizado, além de boas práticas de cultivo, com o uso de desbrotamento, nutrição de solo balanceada, boa localização em termos geográficos do pomar, sistematização das datas de colheita ideais e adaptação das condições do armazenamento de cada pomar.

1.2.2 Conceitualizando Minimamente Processados e *In Natura*: Qual A Diferença?

As diferenças entre minimamente processados e *in natura* podem ser nebulosas, sendo proveitoso explicitá-las já de antemão. Fruta ou vegetal *in natura* envolve um produto vendido sem nenhum tipo de processamento, podendo ser adquirido de maneira unitária ou a granel e sendo possível algum beneficiamento como recobrimento ceroso. A terminologia *in natura* é aplicada de maneira informal e é restrita para frutas e hortaliças que não passam por quaisquer processamentos. Na bibliografia internacional, faz-se uso da terminologia *whole fruits* (Balla; Farkas, 2006) para frutas *in natura* ou *whole vegetables* (Sinha *et al.*, 2011) para vegetais *in natura*.

As definições cabíveis delineando o que seja a classe dos alimentos minimamente processados apresentam diversidade de significados conforme o autor da publicação e também da época que tal semântica fora publicada. Tratando-se do início de disseminação do termo e do início das discussões acadêmicas que avaliaram o hortifrúti minimamente processados *per se*, o trabalho mais antigo e que melhor sistematiza os primeiros estágios desse mercado data de 1987. Na época, os hortifrúti são introduzidos como um novo ramo do mercado de minimamente processado, este inicialmente proveniente do mercado de produtos cárneos nos anos 70 e final dos 80.

A descrição cabível que define o que é um minimamente processado que já eram postuladas apresenta-se sintetizada por Shewfelt: O minimamente processado diz respeito ao *commodity* agrícola preparado, empacotado e distribuído de modo que

propicie a preservação de seu estado de frescor (1987). Shewfelt também pontua que o mercado de hortifrúti possivelmente ascenderia nos anos 90 em virtude do desenvolvimento das indústrias de empacotamento. A previsão demonstrou precisão, havendo um crescimento do setor nas décadas seguintes.

Contudo, ainda nos anos 2000, existe o levantamento de que o significado abrangendo minimamente processados já havia se modificado devido ao desenvolvimento dessa categoria em uma década e meia, onde houve a incorporação de novas técnicas complexas que vão além da remoção de sujidades e higienização a fim de coibir o desenvolvimento de microrganismos. O aperfeiçoamento das técnicas de armazenamento refrigerado, controle de pH e outras tecnologias ampliaram o leque de barreiras que podem ser incorporadas em produtos minimamente processado (Vasconcellos, 2000).

Vasconcellos (2000) fornece uma definição mais atualizada para o período de duas décadas atrás: minimamente processados podem ser considerados produtos que foram processados por uma ou mais técnicas, causando o mínimo de alterações nas características dos alimentos em comparação a suas contrapartes frescas ao mesmo tempo que aprimora sua qualidade de armazenamento e sensorial, preservando seu aspecto nutricional (2000).

No que diz respeito às fontes adotadas em 2010 e suas definições para minimamente processados hortifrúti, a definição sustentada por publicação especializada da Embrapa demonstra como sendo sedimentada mesmo hoje em dia. Esta categoriza produtos hortifrutícolas minimamente processados como aqueles que sofreram operações de limpeza, lavagem, seleção e corte, sendo oferecido aos consumidores como um produto embalado trazendo frescor, conveniência e qualidade nutricional (Silva *et al.*, 2011).

Priorizando definições desta década e internacionais, a *International Fresh-cut Produce Association* (2023) define produtos minimamente processados como frutas ou vegetais que foram aparados, descascados ou cortados em um produto 100% utilizável que é embalado ou pré-empacotado a fim de oferecer ao consumidor uma nutrição de alta qualidade, conveniência e sabor enquanto mantém frescor. Convém apontar que dentre as desvantagens desse tipo específico de produto, tem-se o dano físico causado durante a etapa de processamento mínimo, o qual propicia o escurecimento de tecidos, vazamento de conteúdo líquido e catalisa a deterioração

de produtos minimamente processados (Lamikanra, 2002). O processamento acarreta maior valor agregado, apesar de demandar maior especialização na parte de manejo.

Tendo em vista essas definições é observável uma “área cinzenta” pois algumas frutas e hortaliças são vendidas em sua maneira *in natura* mas também são passíveis de consumo imediato, dentre esses destaca-se pequenos frutos (Horvitz, 2017). O manejo desse tipo de fruto sensível demanda cuidados especiais como, por exemplo, o devido cuidado durante a colheita e pós-colheita a fim de evitar contaminações bem como investir em métodos modernos de sanitização. Citam-se aqui a aplicação de luz ultravioleta (Darré *et al.*, 2022) ou ozônio (Lone *et al.*, 2019).

O armazenamento de frutas e verduras em ambas as categorias demanda cuidados na pós-colheita. Por exemplo, o uso de baixas temperaturas na refrigeração pode propiciar a ruptura dos tecidos vegetais por meio da formação de cristais de gelo, visto a grande umidade que tais alimentos possuem. No que tange as frutas minimamente processadas, o controle microbiológico precisa de um foco maior do que das frutas *in natura*, pois a barreira essencial de defesa do fruto (como a casca, cerosidade ou estruturas semelhantes) é minimizada ou neutralizada em virtude dos procedimentos de processamento mínimo. Tal condição faz com que seja de vital importância o devido manuseio de frutas e hortaliças em toda colheita e pós-colheita, pois mesmo a sanitização posterior não garantirá a segurança alimentícia do produto caso o manuseio seja executado de maneira errônea (Balla; Farkas, 2006).

Entretanto, processos de degradação em minimamente processados também são intrínsecos a dinâmica desta categoria de produto e devem ser observados durante a etapa de armazenagem. Tecidos danificados mediante o processo de processamento mínimo propiciam ao alimento minimamente processado ficar mais frágil ao armazenamento. De igual maneira, a simples remoção de cascas e corte divisório dos alimentos na fase pré-embalamento já os torna mais sensíveis ao armazenamento, sendo necessário que a estocagem do alimento minimamente processado preveja a limitação imposta pela natureza da categoria.

1.3 MATERIAIS BIOPLÁSTICOS E SUAS MATÉRIAS-PRIMAS

1.3.1 Conceitos e Objetivos do Desenvolvimento de Bioplásticos

A definição adotada pela *European Bioplastics* a fim de simplificar essa categoria emergente de material caracteriza bioplásticos como aqueles que são biodegradáveis, biobaseados ou biodegradáveis e biobaseados (European Bioplastics, 2016). É reportado que tal termo ainda traz algumas confusões em relação ao seu entendimento pleno. Por exemplo, um material derivado de biomassa não é necessariamente biodegradável, sendo essa uma característica que nem sempre é observável para produtos derivados de biomassa. Em contrapartida, matérias não derivados de fontes biológicas podem apresentar biodegradabilidade (Rujnić-Sokele; Pilipović, 2017).

Bioplásticos são polímeros em sua natureza, cuja cadeia polimérica é uma macromolécula, formada a partir de unidades de repetição unidas por fortes ligações primárias. As distintas cadeias poliméricas se atraem por forças secundárias fracas. Os plásticos poliméricos são avaliados mediante sua estrutura química (como o aspecto da cadeia de carbonos), metodologia de preparação, comportamento mecânico e desempenho mecânico (Canevarolo, 2013). São interessantes os compostos poliméricos biodegradáveis e biobaseados, pois são produzidos de maneira completamente renovável e que possibilitam sua completa decomposição quando descartados (Saran, 2011), categoria englobada pelos bioplásticos.

A busca por materiais *drop-in* é uma das metas no setor de pesquisa de amido termoplástico. Segundo definição de Bomtempo (2013), *drop-in* são produtos bioplásticos que apresentam propriedades técnicas idênticas ou bem próximas aos materiais de origem fóssil, com a vantagem de serem produzidos mediante o uso de matéria-prima renovável (Amaral; Borschiver; Morgado, 2019). Em tempo, a agenda 2030 publicada pela Organização das Nações Unidas enumera diversos objetivos a serem cumpridos por países a fim de que o planeta possa então superar os mais cruciais desafios impostos para as próximas gerações.

Dentre os objetivos acordados pelos signatários destacam-se: “Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável”; “Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização

inclusiva e sustentável e fomentar inovação” e “Assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis” (UNIC Rio, 2015). Tais objetivos condizem plenamente com as características e vantagens demonstráveis para os bioplásticos, sendo um recurso a ser empregado em inovações sustentáveis necessárias para o futuro da humanidade.

1.3.2 Amido de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

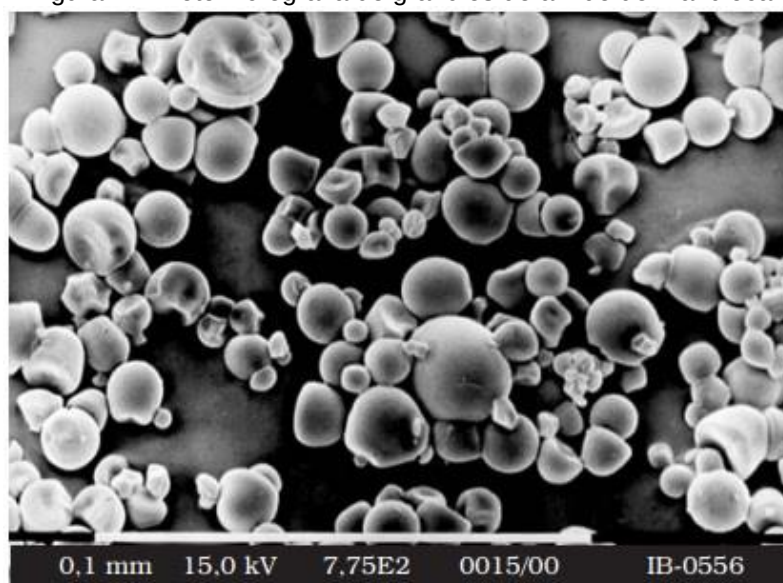
A mandioca é composta majoritariamente por amido, o qual apresenta um formato geométrico de aspecto circular, apesar destes grânulos apresentarem diferentes tamanhos, o que já era esperado devido ao processo de tuberização da raiz a partir de um câmbio central. Estudos indicam a média do diâmetro médio menor e maior de 14,39 μm e 17,10 μm , respectivamente, para esse tipo de grânulo (Leonel, 2007). A produção brasileira de mandioca é significativa para o mercado e para a agricultura, havendo a estimativa de produção brasileira de raiz de mandioca em 18,23 milhões de toneladas produzidos em 1,23 milhões de hectares (CONAB, 2023).

O amido de mandioca de mais ampla utilização é caracterizado no Brasil como “polvilho doce”, sendo distinto do “polvilho azedo” por não passar pelo processo de fermentação. A bibliografia esclarece que fécula de mandioca é um sinônimo para amido de mandioca, havendo uma diferença de nomenclatura popular e no meio industrial onde o nome fécula é reservado para amido extraído de tubérculos e raízes (Fernandes *et al.*, 1995). De modo geral, o amido disponível comercialmente apresenta em torno de 98,14% a 99,14% em média para os valores de amido total segundo estudo que avaliou os valores de amido do estado de Paraná e São Paulo, respectivamente.

Destes, o amido resistente é contabilizado em apenas 1,06% e 1,11% em cada um dos respectivos estados. Isso demonstra que o amido de mandioca é um produto constituído majoritariamente por amidos digestíveis não resistentes (Pereira; Leonel, 2014). Os teores de amilose em mandioca variam de acordo com a variedade de mandioca estudada. Trabalhos de levantamento sobre o tema apontaram que em 46 genótipos de mandioca que os níveis de concentração de amilose variam de 10,47% a 22,53% enquanto que a amilopectina varia de 77,47% a 89,53%, sendo portanto notória a concentração de amilopectina (Moreira *et al.*, 2013).

Segundo Cornejo-Ramírez et al. (2018), o amido é categorizado como integrante dos polissacarídeos, sendo este formado pelas repetições de monômeros D-glicoses. Os grânulos de amido são semicristalinos (Souza; Andrade, 2000), sendo o padrão de cristalinidade estrutural do amido variável entre A, B ou C. A forma e a estrutura de grânulos através de padrões de difração de raios X, dá origem a classificação em três tipos de grânulos: A, B e C. Usualmente, os tubérculos e raízes apresentam aspecto estrutural típico de característica B, sendo estes grânulos grandes de geometria circular ou elipsoide (Figura 1.2). Entretanto, a mandioca e outras tuberosas de origem tropical são uma das notórias exceções, tal como a batata doce e o inhame, possuindo grânulos menores de aparência poligonal ou esférica, cuja análise cristalográfica indica uma organização na classe do tipo C (Gallant *et al.*, 1992).

Figura 1.2: Fotomicrografia de grânulos de amido de mandioca



Fonte: Leonel (2007)

Amidos de mandioca podem conter diferentes classificações específicas de acordo com a sua composição macromolecular. Podem ser considerados normais caso apresentem amilose entre 20% a 30%; resistentes se a amilose estiver acima de 50% ou cerosos quando os teores de amilopectina atingem acima de 95% (Santos, 2018). Amidos resistentes do tipo RS3 (também chamados de retrogradados) consistem nos amidos que passam por processos térmicos e são resfriados (Raigond; Dutt; Singh, 2019), sendo portanto um fenômeno a ser observável em amidos que

passam pelos processos de manufatura de bioplásticos que fazem uso do calor e do resfriamento durante o processamento.

Para ser utilizado como material termoplástico semelhante ao plástico, o amido necessita passar por processos tecnológicos com aplicação de temperatura e cisalhamento, culminando com a destruição da sua estrutura granular e estabelecimento de uma matriz polimérica homogênea e amorfa. Esse material é chamado amido termoplástico (ATP) (Souza; Andrade, 2000). Amido termoplástico pode ser obtido de agro-polímeros originários da biomassa resultante do *output* da produção agrícola (Avérous, 2004), como a mandioca, sendo a mesma de caráter natural e renovável (Zullo; Iannace, 2009).

Dentre os processos aplicados na produção de ATP, a extrusão e o *casting* são os mais utilizados para a obtenção de materiais de embalagem para alimentos. As soluções filmogênicas (filmes) provenientes de polissacarídeos (tal como do amido de mandioca) estão entre as mais utilizadas na pós-colheita de alimentos (Luvielmo; Lamas, 2012). Luvielmo e Lamas (2012) e Assis e Britto (2014) enumeram diversos casos de sucesso da aplicação do uso destes materiais em hortifrúti, como a uva (Fakhouri *et al.*, 2007), morango (Garcia *et al.*, 2012), goiaba (Soares *et al.*, 2011) e pêra (Botrel *et al.*, 2010).

O uso de amido para a confecção de bandejas é uma alternativa já trabalhada sob diferentes abordagens na literatura (Debiagi *et al.*, 2014; Jaramilo *et al.*, 2017; Motelica *et al.*, 2020) e que se beneficiaria de mais estudos tratando dos efeitos da mesma quando combinada com ingredientes ativos. O estudo de embalagens biodegradáveis a base de amido a serem aplicadas como bandejas ativas para alimentos minimamente processados é naturalmente uma vertente importante a ser analisada nesse campo.

1.3.3 Bagaço de Malte

O bagaço do malte ocorre como um subproduto do processo da brassagem, sendo a parte sólida do mosto antes de se aplicar a fervura, e constituída principalmente de restos de casca e polpa de malte (Cordeiro; El-Aouar; Gusmão, 2012). Quanto ao valor composicional do bagaço de malte, este possui elevados teores de fibras, sendo constituído de 12,29% de celulose, 26,13% de lignina e 23,41%

de hemicelulose (Mello; Vergílio; Mali, 2013). Os resíduos orgânicos da produção de cerveja, quando descartados incorretamente, podem acarretar em danos ao meio ambiente, demandando cuidados no manejo, destinação e utilização desses restos do setor industrial cervejeiro (Marsarioli, 2019).

O uso de fibra natural invés das sintéticas em compostos plásticos confere uma série de vantagens segundo Furlan, Duarte e Mauler (2012), como por exemplo, baixo custo, baixa massa específica, baixa maciez e abrasividade, baixo consumo de energia em sua produção, não ser tóxico e possibilidade de reciclagem além é claro, da biodegradabilidade (Florindo, 2017). Em estudo que analisou a aplicação de resíduos agroalimentares do broto na composição de bioplásticos, elevados conteúdos de fibras totais proporcionaram alta capacidade de retenção de água e baixa retenção de óleo (Silva; Brinques; Gurak, 2020).

O bagaço de malte possui fibras naturais as quais podem ser empregadas como reforço (Florindo, 2017), sendo portanto um material interessante a ser trabalhado na área de bioplásticos a fim de se descobrir potenciais utilidades deste como compósito (Motelica *et al.*, 2020). Para fins de pesquisa e de complementação ao referencial teórico nacional, foram obtidos mediante a análise bromatológica do bagaço de malte cervejeiro do tipo *pilsen*⁵ os seguintes valores (Quadro 1.2):

Quadro 1.2 Valores centesimais do bagaço de malte cervejeiro (em 100 g)

	Quantidade (g)
Proteína	22,83
Lipídeos	9,58
Fibras totais	14,58
Cinzas	2,36
Umidade	5,64

Fonte: Olivato *et al.* (2022). Conteúdo adaptado e traduzido. Valores obtidos pela análise bromatológica de malte do tipo *pilsen* (submetido à publicação).

⁵ Tipo de cerveja *lager* popular criada em 1842 na cidade de Pilsen na região da Boêmia, na República Tcheca (German Beer Institute, 2011).

1.4 EMBALAGENS NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

As quatro funções primordiais que uma embalagem deve exercer são: proteção, conservação, informação e conveniência de utilização de produto (Barão, 2011). Nas últimas décadas, entra em crescente as discussões pertinentes a embalagens, tais como as embalagens ativas, uma vez que surgem constantes desafios que visam atender as exigências dos consumidores, fornecendo embalagens modernas, práticas e que conservem os alimentos, adjuntas de viabilidade ambiental e econômica (Rebello, 2009). Tais avanços já são aplicados no mercado e a área apresenta uma amplitude de desdobramentos, onde os ingredientes que tornam estas embalagens ativas demandam estudos aprofundados.

1.4.1 Embalagens Convencionais

Os plásticos convencionais proporcionam características intrínsecas positivas para a embalagem de produtos alimentícios, favorecendo o mercado global e as cadeias de distribuição de alimentos. Embalagens plásticas são obtidas a partir de polímeros sintéticos, que possuem como principal matéria-prima os derivados de petróleo.

No ano de 2018, verificou-se o número alarmante de 820 milhões de pessoas passaram fome, além de 1,2 bilhões pessoas terem sofrido algum grau de insegurança alimentar (FAO et al., 2019). Em contraste a estas informações se faz necessário tornar acessível alimentos de maior qualidade nutricional, visto que outro número alarmante é o da obesidade, onde curiosamente o relatório mais recente sobre insegurança alimentar aponta para 830 milhões de pessoas obesas, também no ano de 2018 (FAO et al., 2019).

Beneficiar a logística dos alimentos hortifrutícolas mediante métodos de conservação mais eficientes e que agreguem na manutenção das vantagens nutricionais também pode ser um auxiliar no combate à fome oculta. A obra ontológica sobre a fome no Brasil disserta sobre o fenômeno histórico da fome oculta, a qual diz respeito a deficiência de determinados nutrientes ou tipos de alimentos nos hábitos dietéticos de populações, acarretando deficiências nutricionais em segmentos que se alimentam diariamente (Castro, 2022).

Infelizmente, embalagens de plástico são passíveis de efeitos colaterais, como aumento excessivo de resíduo sólido acompanhado de sérios danos ambientais, além de possíveis riscos de contaminação nos alimentos por substâncias químicas derivadas dos plásticos convencionais (Fabris; Freire; Reyes, 2006).

1.4.2 Embalagens Biodegradáveis

Na obtenção de biopolímeros mediante o uso de matéria-prima natural podemos citar o amido figurando num dos materiais mais utilizados (Donhowe; Fennema, 1994; Fakhouri, 2009). Além do amido, novos materiais podem ser associados em inovações no setor de bioplásticos. Trabalhos anteriores na academia já reportaram experiências bem sucedidas ao utilizar fibras e demais subprodutos como reforço em ligas poliméricas, tal como em Moro et al. (2013) e Silva, Brinques e Gurak (2020). Um tipo de subproduto potencialmente interessante como compósito para a fabricação de plásticos seria o resíduo da indústria cervejeira, o bagaço de malte (Florindo, 2017).

Mediante a execução de análises logísticas referentes ao uso de bioplástico em um estudo de caso, são identificadas vantagens de aspectos tecnológicos ao implementar produção de bioplásticos, o que pode viabilizar tal implementação em empresas que trabalhem com plásticos convencionais. Algumas que podem ser citadas são o fato de que tais bioplásticos podem apresentar características semelhantes aos plásticos de origem fóssil, bem como a mesma infraestrutura pode ser utilizada (Castro, 2019).

A utilização de materiais biodegradáveis e renováveis como matéria-prima para embalagens, configura como um oportuno caminho a ser seguido, uma vez que agrega benefícios ambientais (Landim et al., 2016), sendo ainda mais interessante se a utilização de resíduos agroindustriais for possível. Santos (2019) trabalhou com filmes biodegradáveis ativos derivados de resíduos da jabuticaba, manga e brócolis. Florindo (2017) que buscou a obtenção de compósitos poliméricos com fibras naturais de bagaço de malte como trabalhos que adentraram em tal temática.

O referencial teórico levantado aborda que existe sustentação na afirmação de que quando oferecidas opções de produtos menos agressivos ao meio ambiente, a predileção do consumidor tenderá para o produto produzido de maneira mais

consciente. É apontado que o público atual possui maior compreensão da necessidade de equilíbrio entre produção industrial e preservação ecológica (Silva, 2019). O desenvolvimento e aplicação de embalagens biodegradáveis é um processo recente e que está sendo implementado aos poucos na rotina de consumo da população, sendo notório o esforço do bloco europeu no investimento de políticas públicas para o incentivo de uma economia de zero emissão de carbono. Ainda que no futuro seja viável apresentar uma embalagem integralmente composta por materiais biodegradáveis, essa realidade ainda assim trará riscos a serem gerenciados, como o uso de fertilizantes e outras questões de cunho social (Di Bartolo; Infurna; Dintcheva, 2021).

O conceito de biodegradabilidade apresentado e entendido pelo público é na verdade mais complexo do que parece, sendo dependente de uma série de variáveis ambientais e microbiológicas diferentes para cada tipo de região e clima existente na Terra. Outro ponto levantado é o de que o cerne da questão deve dizer à respeito da mudança gradual de comportamento de consumo da sociedade (Haider *et al.*, 2019). Assim, a inserção de bioplásticos como material majoritário da composição da embalagem nesse trabalho um início promissor para um futuro ambientalmente responsável e não uma panaceia absoluta, visto que novas respostas da ciência deverão nos orientar no futuro.

1.4.3 Embalagens Ativas e Ingredientes Ativos Aplicados em Hortifrúti

A tecnologia das embalagens ativas consiste em embalagens capazes de interferir na qualidade do produto armazenado em seu interior, mediante a utilização de ingredientes ativos contidos em sua composição. Essa tecnologia de caráter inovador pode atuar por meio de diversos mecanismos em prol de uma melhor conservação do produto (Jideani *et al.*, 2017). Tecidos vegetais (como frutas e hortaliças) podem ser muito beneficiados pelas embalagens com tais propriedades, uma vez que o produto em questão está desempenhando uma função metabólica.

A interferência na respiração destes tecidos pode ser afetada mediante a emissão ou absorção de gases ou fito hormônios no interior da embalagem. De acordo com Brody, Strupinsky e Kline (2001), embalagens ativas atuam por meio de técnicas que fazem uso de vários emissores e absorvedores gasosos para frutas minimamente

processadas, podendo afetar a atividade hormonal da planta, atividade microbiológica e atividade respiratória do produto embalado. A ampla aplicabilidade dessa tecnologia na indústria de alimentos delineia um futuro promissor (Chbib *et al.*, 2019), bem como também tem sido objeto de fixação no meio acadêmico (Rodrigues, 2015).

Portanto, é uma vantagem a existência de produtos vegetais embalados minimamente processados prontos para o consumo que se encaixem nesse cenário, sendo favorável que se também possa embalar tais produtos em embalagens contendo ingredientes ativos. Enfatiza-se que o uso de um sistema ativo na embalagem com o objetivo de sequestrar oxigênio, dióxido de carbono e etileno apresenta sucesso (Yousuf; Titikshya; Singh, 2018).

Existe um número complexo para as opções de ingredientes ativos passíveis de serem úteis para produtos da fruticultura e olericultura embalados. Dentre as opções que podemos citar, temos os absorvedores de oxigênio como o óxido de ferro. Zeólitas também são agregadas como possíveis absorvedoras de etileno.

Óleos essenciais também são classificados como ingredientes estudados, possuindo características antimicrobianas. Também é reportado uma vasta quantidade de substâncias de ação antioxidante aplicados em embalagens (Limbo; Mousavi Khaneghah, 2015). Dentre estes o tocoferol, também conhecido como vitamina E (Traber; Atkinson, 2007).

1.4.3.1 Nanoargilas zeólitas

A natureza da capacidade de adsorção da classe argilomineral das zeólitas só foi plenamente compreendida por volta do ano de 1926, apesar da descoberta do primeiro composto zeólito datar do ano de 1756. A natureza microporosa de compostos zeólitos permite adsorção seletiva de moléculas e íons de proporções iguais ou menores inferiores à apresentada pela abertura dos poros (aproximadamente menor que 2 nm de diâmetro) (Braga; Morgon, 2007). As zeólitas são de grande abundância na natureza (Oliveira, 2011), facilitando muito o seu uso para aplicações práticas.

Devido às atribuições peculiares das zeólitas, estas são classificadas como “peneiras moleculares”, termo cunhado originalmente por McBain e Kistler (1928) segundo a prospecção historiográfica levantada por Müller (2013), em virtude de sua

estrutura possibilitar a adsorção das moléculas do gás etileno, sendo um material capaz de funcionar em associação com outras tecnologias de barreira existentes (Sousa, 2016). A efetividade antimicrobiana das zeólitas é também alvo de diversas pesquisas (Llorens *et al.*, 2012).

Aplicações da argila zeólita já são observadas na embalagem de produtos alimentícios (Eroglu; Emekci; Athanassiou, 2017), sendo já reportado o uso do mineral associado a embalagens convencionais de polietileno (Dirim; Esin; Bayindirli, 2003). O efeito do uso da nanoargila na embalagem de alimentos vegetais como o milho e a cebola foi observado como sendo um fator positivo para acelerar a evaporação de água (Djaeni; Kurniasari; Sasongko, 2015).

Argilas da categoria das zeólitas apresentam superioridade na capacidade de absorção de etileno quando comparadas com outros tipos de argila, como a montmorilonita. Justifica-se que tal ocorrência se faz presente por conta da estrutura porosa e da presença do cobre como um cátion de compensação que aperfeiçoa propriedades de adsorção pertinentes aos aluminosilicatos, atuando como um sítio de adsorção (Coloma *et al.*, 2014). A quantidade de zinco e cobre e a possibilidade de se ter essa nanoargila enriquecida com esses elementos aparenta favorecer a remoção do etileno produzido em tomates (de Bruijn *et al.*, 2019).

1.4.3.2 Óleos essenciais

Estruturalmente, os óleos essenciais revelam estruturas químicas que podem ser divididas principalmente entre terpenos e hidrocarbonetos (Moghaddam; Mehdizadeh, 2017). Os óleos essenciais, segundo Bakkali *et al.*, (2008), são os compostos bioativos mais estudados dentre os aplicados nos produtos minimamente processados. Estes compostos complexos voláteis são caracterizados por um forte aroma e são formados por plantas aromáticas por via de metabólitos secundários (Velderrain-Rodríguez *et al.*, 2015).

Óleos essenciais, no que tange aos ingredientes ativos, são categorizados como agentes naturais de atividades antimicrobianas e antifúngicas. Estes compostos naturais antimicrobianos são geralmente obtidos de fontes vegetais, como o tomilho. Uma das vantagens tecnológicas de se trabalhar com óleos essenciais é a de que estes podem ser incorporados durante o processo de fabricação de embalagens

biodegradáveis, podendo conferir à estes características bactericidas (Debiagi *et al.*, 2014; Motelica *et al.*, 2020).

O estudo da aplicação de óleos essenciais em alimentos é necessário, uma vez que estes ainda não estão largamente disponíveis comercialmente (Motelica *et al.*, 2020), sendo importante analisar as vantagens do emprego diversificado de óleos essenciais em prol da vida de prateleira de alimentos. Dentre os diversos óleos essenciais, alguns já se destacam e merecem um olhar mais aprofundado de acordo com a bibliografia.

Podemos citar como exemplo o óleo essencial do tomilho, óleo extraível comumente da planta do tomilho (*Thymus vulgaris* L.). Essa planta contém concentrações do óleo que variam de 10 a 64%. Vale destacar que óleos essenciais podem ser obtidos de pelo menos 21 espécies de plantas reportadas até o momento.

As aplicações de óleo essencial de tomilho associado a biomateriais visando a preservação de vegetais, frutas, produtos cárneos e laticínios em geral demonstram ser positivas (Sivaram *et al.*, 2022). A associação de óleo essencial de tomilho em nanofibras de pululana combinada com poli (álcool vinílico), sob uma rede coordenada de porfirinas baseadas em zircônio em escala nanoparticular propiciou a liberação controlada de óleo essencial, exercendo uma atividade antimicrobiana. A associação tecnológica com o ingrediente ativo propiciou uma maior vida útil de uvas e morangos. Uvas sob o tratamento citado não apresentaram sinais de podridão após sete dias de armazenamento, enquanto que o morango permaneceu com aspecto fresco por sete dias (Min *et al.*, 2021).

O óleo essencial de tomilho (OET) foi aplicado de maneira bem sucedida na conservação de abacate na pós-colheita. Um estudo científico determinou que o óleo essencial de tomilho em 66,7 µL/L reduziu significativamente doenças causadas por patógenos de pós-colheita como a antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) e podridão de final de caule (*Lasioidiplodia theobromae*) em abacate armazenado por um total de 6 dias (Sellamuthu; Sivakumar; Soundy, 2013).

Min *et al.* (2021) avaliaram os efeitos desse óleo essencial específico na embalagem de alimentos associado com nanofibras de pululano/álcool polivinílico (PUL/PVA) incorporadas com nanopartículas de estrutura metálica e orgânica de porfirina carregadas com timol. Já no estudo conduzido por Sharma *et al.* (2020), o óleo essencial de tomilho incorporado à filmes de poli(ácido láctico) e poli(adipato-co-

tereftalato de butileno) mostrou eficiência na inibição de *E. coli*, apontando um potencial uso na embalagem de alimentos.

Determinados componentes (timol e cimol) do OET demonstraram efeito preventivo na taxa de deterioração de citros, uvas, morangos e peras (Perumal *et al.*, 2016). Efeito supressor contra mofo azulado em morangos, pepinos e tomates armazenados foram reportados (Pandey *et al.*, 2021). Efeitos benéficos contra fungos deteriorantes são apontados, havendo efeito exercido pelo óleo essencial de tomilho em tomates do tipo cereja (Álvarez-Hernández *et al.*, 2021).

Outro óleo essencial aplicável na conservação de pós-colheita é o óleo essencial de mentol. O mentol é um composto de ocorrência natural caracterizado pelo aroma e sabor mentolado que pode ser encontrado principalmente nos óleos essenciais de hortelã-pimenta (*Mentha piperita*) e de hortelã (*Mentha arvensis*) e extraído via destilação a vapor. A planta da hortelã contém entre 70 a 80% de mentol enquanto que a planta do hortelã-pimenta atinge níveis de até 50% de mentol.

Após a segunda guerra mundial, o Brasil figurava como o maior exportador global de mentol (Eccles, 1994). Atualmente, o Brasil figura como 18º maior exportador de mentol do mundo (Observatory of Economic Complexity, 2024). O mentol é um terpeno alcóolico cíclico de fórmula $C_{10}H_{20}O$, além de possuir componentes químicos aromáticos (Eccles, 1994).

Aplicações com óleos passíveis de conter quantidades relevantes de mentol foram desenvolvidos e testados na conservação de alimentos. O óleo de hortelã incorporado em nanofibras gelatinosas foi reportado com uma notável atividade antibacteriana contra as espécies *E. coli* e *S. aureus*, demonstrando potencial para aplicação prática (Tang *et al.*, 2019). Sachês com funções antimicrobianas fabricados sob a encapsulação de óleo essencial de hortelã obtiveram sucesso quando aplicados em morangos.

Resultados da cromatografia gasosa confirmaram a emissão prolongada de óleo essencial até o final do quarto dia de armazenamento. Observou-se menor carga de microrganismos relativa ao fim do período de armazenamento de 11 dias, havendo efeito positivo no incremento de vida de prateleira dessas frutas (Amiri *et al.*, 2022). A aplicação de mentol em citrus na pós-colheita em quantidade de 128 mmol.L^{-1} diminuiu a deterioração na pós-colheita mediante a redução da incidência da doença conhecida como “podridão azeda” causada pelo *Geotrichum citri-aurantii* em índices

de 43%, demonstrando eficácia na aplicabilidade do mentol na pós-colheita (Cai *et al.*, 2023).

O uso da fumigação com óleos essenciais em pera (*Prunus persica* L.), no controle da deterioração, respondeu positivamente com ação antifúngica mediante o aumento das doses de óleo essencial de hortelã-pimenta. Determinou-se que a dose ideal de tal óleo essencial foi de aproximadamente 3mL/caixa para frutas sob armazenamento prolongado e situações de comercialização, caracterizando o óleo cru de hortelã-pimenta como uma alternativa para a estocagem e armazenamento de frutas (Ziedan; Farrag, 2008).

Aplicações conjuntas de óleo essencial de mentol e timol apresentaram uma significativa redução na perda de peso e menor razão de sólidos solúveis por acidez titulável quando se comparou a estocagem de uvas do tipo “Crimson”, havendo inclusive, redução na carga microbiana (Martínez-Romero *et al.*, 2005).

1.4.3.3 Óxido de ferro

O uso de um sistema de embalagem ativo visando o sequestro de oxigênio, dióxido de carbono e etileno apresentou sucesso (Yousuf; Titikshya; Singh, 2018). Muitos dos alimentos podem sofrer deterioração devido a ação de oxigênio no interior de embalagens. Além disso, podemos dizer que a deterioração verificada em alimentos é frequentemente relacionada à ação oxidativa ou devida à presença de microrganismos aeróbicos. Por conta disso, o devido controle dos níveis de oxigênio é algo desejável nas embalagens de alimentos. Ingredientes ativos baseados em ferro são uma alternativa a ser explorada na mitigação deste problema (Cruz; Camilloto; Pires, 2012).

Alimentos sensíveis à presença de oxigênio podem ser melhor estocados mediante a utilização de materiais absorventes de oxigênio, sendo essa uma tendência atual de desenvolvimento tecnológico na indústria de alimentos. O foco na formulação de embalagens ativas, que exploram agentes sequestradores de oxigênio bem como o uso de barreiras ativas protetivas são de relevante importância (Gaikwad; Singh; Lee, 2018). O desempenho do ferro em sachês é apontado como surpreendente em um estudo de caso analisado, sendo passível de até mesmo absorver CO₂ (Miltz; Perry, 2005).

O oxigênio é um dos maiores fatores deteriorantes para os alimentos (Hidayah; Triastuti; Abdillah, 2020). Os processos de deterioração que envolvem oxigênio estão relacionados a auto oxidação, oxidação exercida pela luz e crescimento microbiano. Estas reações oxidativas podem incorrer na descoloração, perda nutricional, deterioração microbiológica, rancidez e deterioração sensorial (Romano, 2017). Sequestradores de oxigênio funcionam mediante a absorção de oxigênio dissolvido ou do oxigênio contido no espaço vazio da embalagem (Dey; Neogi, 2019).

A revisão de Cooksey (2010) aduz que o propósito desse tipo de técnica nos sistemas de acondicionamento é limitar a quantidade de oxigênio dentro da embalagem, limitando assim a deterioração ocasionada por eventuais reações que demandem o oxigênio, havendo uma reação química de oxidação. Geralmente, a adoção viável do pó de ferro é devido a mineralogia da partícula, uma vez que ocorre uma maior área de superfície para a reação no caso do ferro transformado em partículas (Robertson, 2006). Dentre os mecanismos existentes para os sistemas de absorção de oxigênio, a via oxidativa mediante utilização de pó férrico tem sido largamente estudado (Cruz; Camilloto; Pires, 2012).

1.5 PRODUTOS ALIMENTÍCIOS HORTIFRÚTI

1.5.1 Mirtilo (*Vaccinium myrtillus* L.)

1.5.1.1 Aspectos botânicos e breve histórico

O mirtilo é uma fruta muito comum em países de clima temperado e que vem ganhando terreno no mercado de fruta nacional (Figura 1.3). Se é creditado aos indígenas norte-americanos a criação do primeiro sistema de produção para mirtilheiros. Colonizadores europeus passaram a manejar variedades selvagens de mirtilheiro na América do Norte apenas no século XIX (Eck; Childers, 1966-). Reporta-se que a primeira ofensiva moderna bem-sucedida para a criação de cultivares domesticados indicados para exploração na fruticultura foi encabeçada pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, na primeira década do século passado (Janes; Percival, 2003).

Figura 1.3 - Frutas do mirtilo sobre fundo branco



Fonte: Milosevic (2017).

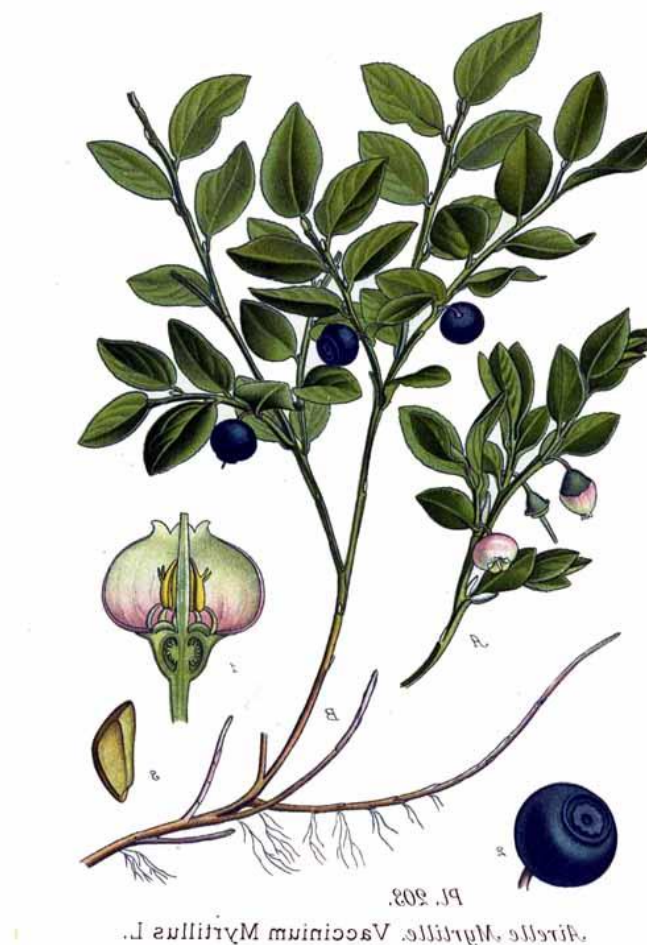
O mirtilo cultivado no mundo é derivado de cultivares provenientes da América do Norte. As primeiras cultivares comerciais de mirtilo domesticado utilizadas em plantios comerciais na Europa foram introduzidas por volta dos anos 30 do século XX por Heerman (Naumann, 1993). Variedades naturais da Europa, ainda que devidamente catalogadas e reconhecidas por ter boa qualidade sensorial, não são exploradas em plantios comerciais havendo a exploração destes do tipo extrativista e sem grandes esforços detectados para uma maior domesticação da espécie (Nestby *et al.*, 2011).

O gênero comum do mirtilo abrange cerca de 400 espécies distribuídas pelo planeta. A estatura de planta do mirtilheiro varia e recebe diferentes nomenclaturas de acordo com as suas dimensões: entre 5 a 20 cm (*lowbush*), 4 m (*highbush*) mas podendo chegar em até 6 m (*rabbiteye*). As frutas são caracterizadas como bagas do tipo verdadeiras, com o ovário contendo 100 óvulos ou mais. As frutas maduras são de coloração azul escuro ou violeta escuro com a superfície recoberta com uma espécie de cera conhecida como pruína conferindo um aspecto brilhoso à fruta (Antunes *et al.*, 2017).

Possui folhas simples, alternadas e caducifólias, havendo de 8 a 16 flores por gema com flores pequenas que se agrupam em formação conhecida como rácimo

(Figura 1.4). O acúmulo de horas de frio é essencial para o pleno desenvolvimento da cultura. Para a obtenção de frutos de mirtilo de boa qualidade, o ideal são fotoperíodos prolongados acompanhados de noites frescas (Wrege; Herter, 2004).

Figura 1.4 - Ilustração botânica apresentando aspecto do mirtilheiro, apresentando folhas, caules, flores, semente e fruto



Fonte: Masclef (1891).

Estima-se que a área de mirtilo cultivado no mundo é de aproximadamente 126.144 hectares com uma produção que atinge cerca de 850 mil toneladas (United Nations, 2020). As maiores produções de mirtilos estão localizadas nas regiões de clima temperado, com destaque para Estados Unidos e Canadá (juntos são 83% da produção mundial). Dentre os países da Europa, a Alemanha e Polônia destacam-se como grandes produtores, enquanto que na América do Sul o cultivo se concentra mais no Chile e Argentina (Gonçalves, 2022).

No Brasil o cultivo de mirtilo ainda é pequeno, mas não é de nenhuma maneira incipiente. Atualmente, o Brasil importa boa parte dos mirtilos consumidos (cerca de 90%) e a área plantada total no território nacional é estimada em mais de 250 hectares aproximadamente. Os atuais estados produtores são todos os da região sul (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) além de dois estados do sudeste: São Paulo e Minas Gerais. O maior estado produtor é o Rio Grande do Sul e geralmente é um cultivo relacionado às pequenas propriedades, com cerca de 2 hectares de extensão total (Gonçalves, 2022).

Segundo referencial do departamento estadunidense de agricultura, a composição bromatológica das frutas do mirtilheiro possui como macronutrientes: 14,6 g carboidratos, 0,7 g proteínas e 0,31 g lipídeos. Como nutrientes em quantidades significativas, verifica-se 86 mg de potássio, 13 mg de fósforo, 12 mg de cálcio e 6,2 de magnésio. As vitaminas em quantidades significativas na fruta são a vitamina C em 8,1 mg e 3,7 de biotina μg (Blueberries, raw United States Department of Agriculture, 2022).

1.5.1.2 Pós-colheita e processamento mínimo de mirtilo

A lavagem com solução de cloro não é empregada para essa categoria de pequenas frutas, uma vez que estas são sensíveis e suscetíveis a contaminação com essa substância. Para fins que possibilitem a higienização do mirtilo, é passível de uso as tecnologias como o poder antioxidante do ozônio (Song *et al.*, 2003) ou radiação emanada por raios UV (Guo; Huang; Chen, 2019). Contudo, como tal recurso demanda alto investimento e especialização, este é pouco usual na maioria do mirtilo comercializado. Idealmente se recomenda que ocorra etapas de colheita e pós-colheita onde não haja exposição do fruto à agentes contaminantes quando este for manipulado.

Mirtilos embalados em embalagem biodegradável de poli(ácido láctico) (PLA) e em embalagens plásticas comerciais duraram 18 dias sob armazenagem em 10°C e 9 dias quando sob temperatura de 23°C (Almenar *et al.*, 2008). Mirtilos armazenados em contato com filme de quitosana associado aos ingredientes ativos de óleo essencial de limol e extrato de semente de *grapefruit* apresentaram durabilidade de 30 dias quando armazenado a 1°C e mais 7 dias sob condições de comercialização

(20°C), após removida as frutas do armazenamento refrigerado (Bof *et al.*, 2021). Mirtilos recobertos com filmes bioderivados associados com titânio e silicone apresentaram durabilidade de 8 dias sob armazenagem de aproximadamente 27°C (Li *et al.*, 2021).

A durabilidade de 4 semanas foi conferida em mirtilos armazenados em 0°C sob atmosfera controlada (10 kPaCO₂/15 kPaO₂), também ocorrendo o armazenamento de mirtilo por 7 dias quando armazenado em 10°C sem ação da atmosfera controlada (Song *et al.*, 2003). Uma vez que a existência de tecnologia de armazenamento de câmaras frias não é amplamente disponível, verifica-se o armazenamento em condições ambientes.

Para tal armazenamento nas temperaturas de 20 a 25°C com umidade relativa de 65 a 70%, constata-se um tempo máximo de armazenamento de 10 dias (Cantillano; Coutinho, 2006). As frutas de mirtilos são vendidas em pequenas bandejas de plástico ou papel, contendo usualmente 100 g de produto por embalagem (Antunes *et al.*, 2017). As embalagens de mirtilo podem ser dispostas em caixas de madeira ou plástico, de modo que não possam ser pressionados (Figura 1.5).

Figura 1.5 - Embalagens plásticas contendo mirtilo dispostas em uma caixa maior de madeira



Fonte: O autor.

1.5.2 Ameixa Europeia (*Prunus domestica* L.)

1.5.2.1 Aspectos botânicos e breve histórico

Fruta comum e popular na Europa e de aspecto diferenciado quando comparada às ameixas comumente comercializadas no Brasil, sendo uma categoria de ameixa de produção restrita atualmente. Tais ameixas europeias são marcadas pela alta acidez combinada com doçura, além da forte cor roxa de sua casca (Figura 1.6). Nota-se aspecto pronunciavelmente mais ovulado quando comparado a outros tipos de ameixa, além das tonalidades mais escuras da casca.

Figura 1.6 - Foto em close de uma fruta do tipo ameixa europeia fotografada no campo de produção no sul da Alemanha



Fonte: O autor.

Globalmente, são disseminadas duas espécies principais de ameixa: A *Prunus domestica* que deu origem às ameixas designadas como “europeia” e a *Prunus salicina* que deu origem a ameixas conhecidas como “japonesa”. As ameixas do tipo europeia tiveram seu cultivo na região do Cáucaso, enquanto a ameixa japonesa é originária da China. Como seu cultivo se estende por milhares de anos, existe uma ampla gama de variedades disponíveis (Bernardi; Hoffmann, 2005).

As árvores de ameixeiras podem chegar a 8 ou 10 metros, com troncos e galhos relativamente curtos e com cores que se assemelham a um castanho até tons avermelhados. Tal como muitas rosáceas, as folhas têm aspecto serrilhado na ponta, ovalada e fina podendo atingir o comprimento em média de 10 cm. A flor de ameixeira é caracterizada na cor creme em suas pétalas, havendo geralmente 5 destas. As ameixas florescem em grandes quantidades agrupadas. A ameixa é uma fruta do tipo drupa e tem mesocarpo carnoso com uma semente única central e dura.

A fruta é arredondada ou ovalada em seu aspecto (Figura 1.7). Alguns aspectos são comuns para todos as espécies de ameixeira, como a fenda longitudinal na fruta, a semente pétrea central e as folhas pontudas de borda serrilhada. Suas cores podem variar do vermelho, amarelo, verde ou roxo e sua superfície exterior é lisa e tem a formação natural de um recobrimento enevoado que cria uma aparência glauca ao fruto, favorecendo que a mesma possua brilho quando em contato com a luz (Hussain et al., 2021 apud Somogyi, 2005).

Figura 1.7 - Desenho botânico de ameixa europeia da variedade Tucker



Fonte: Prestele (1894).

As ameixas são frutas baixas em calorias, mas ricas em nutrientes como vitaminas, minerais e substâncias fitoquímicas (Hussain *et al.*, 2021), sendo assim atribuídos benefícios a saúde, como a regulação do sistema digestivo, compostos antioxidantes e anticarcinogênicos, fontes de potássio, ferro, vitamina C, fluoretos, vitaminas do complexo B e vitamina K. Além disso, é apontada como responsável pela prevenção da degeneração macular, doenças cardíacas e proteção contra danos nos neurônios.

A frutificação da ameixeira pode se apresentar em uma variedade de tamanho e cores externas como amarelo, branco, verde e vermelho em diferentes tonalidades e intensidades (Birwal; Singham; Patel, 2017). Não se tem registros de quando a cultura da ameixeira foi introduzida na fruticultura do Brasil (Eidam *et al.*, 2012). Estimativas do setor agroindustrial apontam que o Brasil produziu cerca de 50 mil toneladas de ameixa no ano de 2020. O Rio Grande Sul participa com 42% dessa produção enquanto que Santa Catarina produziu cerca de 19,5% do montante (Merladete, 2022).

No país, a disseminação de ameixas europeias é limitada por conta da maior exigência de frio para a quebra de dormência. Tal tipo de ameixa é muito interessante para a indústria de ameixa desidratada que faz uso das variedades do tipo europeia.

A ameixa europeia é a mais comum no mundo sendo base tanto no consumo *in natura* como para a indústria de ameixas desidratadas, havendo no Brasil o abastecimento da indústria de desidratados com frutas importadas (Bernardi; Hoffmann, 2005).

Integrante da família das rosáceas, o gênero *Prunus* possui uma ampla variedade de frutas comestíveis. As ameixas possuem uma abundância de compostos bioativos como os ácidos fenólicos, antocianinas, carotenóides, minerais e pectina (Birwal; Singham; Patel, 2017). Os dados indexados pela USDA e referentes à composição centesimal da ameixa europeia revelam que esta possui 87,2% de umidade, 46 kcal de energia, 0,7 g de proteína, 0,2 g de lípidos totais, 11,4 g de carboidratos, 1,4 g de fibras totais, 157 mg de potássio e 9,5 mg de vitamina C (United States Department of Agriculture, 2022).

1.5.2.2 Pós-colheita e processamento mínimo de ameixa

As ameixas são colhidas em sacolas de pano ou em cestas e então descarregadas em *bins* ou caixas. Após a colheita, as ameixas em *bins* passam para a etapa de gradação de acordo com o calibre de fruto e seleção, a fim de segregar frutos danificados, deformados ou com doenças. Em geral, ameixas são comercializadas no atacado em caixas com 12,6 kg, quando cheios de fruta. Ameixas podem ser resfriadas após colhidas nos próprios *bins*, fazendo uso de correntes de ar forçado, hidro refrigeração caso haja lavagem ou resfriamento em câmara fria antes do empacotamento para expedição (Figura 1.8). As temperaturas para armazenagem refrigerada de ameixa variam entre 0°C até -1,1°C, variando conforme cultivar sob umidade relativa do ar entre 90 a 95%.

Figura 1.8 - Ameixas do tipo Baronesse armazenadas em caixas em câmara fria



Fonte: O autor.

O escurecimento do interior da polpa pode ser um distúrbio fisiológico apresentado por ameixas onde ocorrem altas temperaturas durante a maturação da fruta e também quando existe a colheita atrasada de frutos. Fungos como os *Monilinia fructicola*, *Botrytis cinerea* e *Rhizopus stolonifer* são passíveis de causar deterioração da fruta na pós-colheita, sendo correlacionados com más práticas de higienização e caso haja ferimentos ou aberturas no fruto (como aqueles advindos de *cracking*) que propiciem a contaminação por patógenos.

A manipulação com os devidos cuidados, com a higiene aliada ao uso de produtos contra patógenos durante a produção e o devido resfriamento do fruto na pós-colheita auxiliam na mitigação desse problema (Crisosto; Kader, 2000). A ameixa é reportada como uma fruta do tipo climatérica. Durante o processo de amadurecimento, ocorre pico de produção de etileno acompanhado de um aumento da taxa respiratória. Por conta dessas características, a ameixa pode amadurecer durante o período de pós-colheita (Sistema de Produção de Ameixa Européia Bernardi; Hoffmann, 2005). Na bibliografia, o tempo que a ameixa é passível de armazenamento varia.

Em experimento que fez uso de aminoetoxivinilglicina (AVG) aplicado em ameixa no campo, o tempo de armazenagem ocorreu por 20 dias em câmara fria sob 0,3°C, havendo melhores índices nos parâmetros de concentração para as ameixas sob o tratamento de AVG, havendo maturação mais lenta (Corrêa *et al.*, 2019). Em estudo sobre os estádios de maturação de ameixa sob armazenagem em embalagens, ameixas colhidas no estágio verde (25 - 50% de cor vermelha) e

semimaduro (50 - 75% de cor vermelha) e armazenadas à 0°C e 90-95% UR podem ser armazenadas em até 42 dias (com acréscimo de 3 dias sob temperatura de 25 - 26°C para comercialização simulada) (Kluge; Bilhalva; Cantillano, 1996).

Metade de toda ameixa produzida é comercializada e consumida em sua forma *in natura* enquanto o resto é processado em diferentes formas (Birwal; Singham; Patel, 2017), inclusive sendo possível o processamento mínimo, que propicia uma redução do tempo de *shelf-life* do produto para 2 a 5 dias dependendo do estágio de maturação da fruta quando cortada, necessitando nessas condições armazenamento sob temperatura de 0°C (Crisosto; Kader, 2000). Ressalta-se que o processamento mínimo é pouco usual no Brasil para ameixas.

1.5.3 Amora-preta (*Morus nigra* L.)

1.5.3.1 Aspectos botânicos e breve histórico

As amoreiras sempre foram plantas silvestres com grande facilidade de propagação em áreas florestais que sofreram algum distúrbio. Essa frutífera possui diferentes espécies espalhadas tanto pela Eurásia como pela América, sendo considerada fonte de alimento para humanos há milhares de anos (Clark; Finn, 2014).

Tem-se documentado o uso de amoras como remédios pelos povos gregos e romanos da antiguidade (FGCU, 2020), além dos povos nativos norte-americanos que já eram consumidores da amora (NCCES, 1999), além de utilizarem a mesma como tintura para peles de animais e para remédios (FGCU, 2020). Com a chegada dos colonizadores europeus, ocorreu a adoção de diferentes métodos de processamento para o consumo da fruta (NCCES, 1999). São notáveis os inúmeros registros documentais iconográficos dessa fruta, que datam desde o final da Antiguidade até a Renascença (Hummer; Janick, 2007).

Clark e Finn (2014) comentam em seu trabalho que em meados de 1800 foi dado o início de seleções dos melhores tipos de amoras removidas do ambiente silvestre para produção de amora em escala, que pudesse abastecer comércios locais. Atualmente, os principais estados produtores de amora são Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo (Rosendo, 2024). Curiosamente, no Rio Grande do Sul reporta-se a ocorrência de cinco espécies

nativas da amoreira, contudo nenhuma destas chegaram a ser domesticadas para uso comercial (Bassols; Raseira; Rosa, 2004).

Estima-se que durante 100 anos de programas modernos de melhoramento, existem pelo menos 400 cultivares distintos de amora melhorados do ambiente silvestre (Clark; Finn, 2011). De modo semelhante a outras frutíferas com afinidade para climas temperados, como a pera e a maçã, a amoreira pertence também à família das rosáceas (*Rosaceae*) (Antunes, 2002). Na literatura norte americana, amoras estão inclusas no grupo das *small berries*, sendo essa uma categoria que engloba também o mirtilo, a groselha, o morango e o arando, por exemplo.

Em português, este tipo de fruto corresponde à categoria dos pequenos frutos (Vinagre, 2003). A fruta de amora é do tipo agregado (Figura 1.9), sendo composta por várias pequenas drupas carnosas aglomeradas, com cada uma destas contendo uma semente em volta de seu receptáculo floral (Padmanabhan; Correa-Betanzo; Paliyath, 2016). A amoreira é mais comumente encontrada possuindo flores hermafroditas (Ochieng et al., 2019 apud Nybom, 1986).

Figura 1.9 - Foto registrada em *close* das amoras-tupi



Fonte: Porto Brazos (2020).

Geralmente são descritas como plantas espinhosas (Ferrell; Sellers, 2013), porém dependendo do cultivar estas podem não apresentar espinhos. No entanto, a pesquisa de Figueiredo (2013) ao analisar documentos produzidos por Antunes, Chalfun e Regina (2000) apresentou que a produtividade de cultivares que apresentem acúleos é superior aos cultivares que não os apresentam. A fenologia da amoreira altera de acordo com o hábito de crescimento, e seu ciclo pode ser anual ou bianual (Padmanabhan; Correa-Betanzo; Paliyath, 2016). Na sequência (Figura 1.10) podemos visualizar em cores o aspecto de caule, folhas e frutas maduras e não maduras pertinente a esse tipo de planta.

contudo é notável o plantio esparsos de variedades e tipos diferenciados de amoreira. Na região dos Campos Gerais no estado do Paraná, o plantio de amoreiras é realizado com variadas finalidades de processamento, sendo uma atividade econômica ímpar no Brasil e restrita à essa região.

No começo do século XXI, essa cultura era reportada como não sendo muito cultivada no Brasil (Antunes, 2004), e mesmo hoje em dia carecem de dados globais e nacionais atualizados que possam refletir o *status* atual preciso da cultura da amoreira. Mediante o levantamento de Antunes et al. (2014), temos os estudos de Strik referente à questão, onde a estimativa para a produção global de amora-preta em 2005 foi de 140.292 toneladas, sendo os maiores produtores o Estados Unidos da América, o México, a China, a Sérvia e a Hungria, respectivamente (Strik et al., 2007).

No ano de 2005, dados referentes à área de produção de amora no mundo contabilizavam 20.035 hectares de plantações comercialmente exploradas de amora (Strik et al., 2007). Sobre a produção nacional de amoras, a cultura figurava nacionalmente com 250 hectares no ano de 2005 (Strik et al., 2007) e no ano de 2014, Antunes et al. (2014) contabilizaram 527,8 hectares de amoreiras estabelecidas.

A USDA tem os seguintes dados de composição proximal para 100 gramas de amora (*blackberry*) fresca: 88,15 g de água, 43 kcal de valor energético, 1,39 g de proteínas, 0,49 g de lipídios totais, 9,16 g de carboidratos, 5,3 g de fibras totais. Destaca-se também vários minerais (cálcio, ferro, magnésio, zinco e fósforo) e vitaminas (C, A e E) em sua composição (2020).

Revisões referentes ao efeito do fruto indicam a amora como detentora de compostos fenólicos com efeitos protetivos em doenças degenerativas relacionadas à idade bem como perda óssea em teste *in vivo*, bem como é passível de inibir lipoproteínas de baixa densidade e oxidação lipossomal *in vitro* (Kaume; Howard; Devareddy, 2011).

Amoras são majoritariamente compostas por antocianinas baseadas com cianidinas (Lee; Dossett; Finn, 2012) A característica de cor escura das amoras é proveniente da concentração e dos tipos de antocianinas (que são pigmentações avermelhadas), sendo estas tonalidades de cores dependentes do pH no fruto, onde uma pequena variação pode tornar o tom avermelhado em roxo escuro ou chegar até em um tom preto. Também é relatado na composição de amoras a presença de

monômeros fenólicos não antocianínicos, polímeros fenólicos e compostos aromáticos (Lee, 2018).

No contexto brasileiro, essa frutífera é de grande potencial para as regiões com período de inverno mais frios, sendo também indicada para propriedades de pequeno porte. A amora é uma fruta versátil que pode ser consumida *in natura* bem como processada em doces caseiros ou geleias, sendo benéfico para famílias que trabalham regionalmente com o ecoturismo. Também existem discussões que destacam amoras como sendo detentoras de grande aplicabilidade na área biomédica, sendo um possível composto para alimentos funcionais (Zia-UI-Haq *et al.*, 2014).

1.5.3.2 Pós-colheita e processamento mínimo de amora

O manejo pós-colheita é componente crítico para a comercialização de amoras. A embalagem, armazenamento e transporte propício são etapas fundamentais para o consumidor receber um produto de alta qualidade e com grande tempo de vida útil (Fernandez; Ballington, 1999). Uma etapa de seleção de frutos após a colheita pode ser realizada, permitindo a segregação de frutos com ferimentos ou que estejam excessivamente maduros.

Há a necessidade de resfriamento da fruta assim que é colhida, uma vez que esta demonstra altíssima sensibilidade e não deve ser colhida após chuva ou com orvalho. A refrigeração deve ser mantida durante toda a cadeia de distribuição do produto (Perkins-Veazie, 2010). É recomendável que a temperatura de armazenamento esteja em torno de 0°C e que a umidade relativa gire em torno de 90 à 95% (Samtani; Kushad, 2015).

Usualmente se faz uso de embalagens plásticas derivadas do petróleo, com orifícios para ventilação, com o intuito de se manter qualidade e aumentar a probabilidade de lucro e comercialização do produto. O uso de embalagens elaboradas com material alternativo já mostra resultados positivos para a conservação de determinados atributos da amora (Joo *et al.*, 2009). Existe a opção do produtor executar uma etapa de pré-resfriamento caso ele disponha de meios para executar tal tarefa.

Essa etapa consiste em deixar as caixas ou embalagens de amora recém-colhida empilhadas devidamente sobre *pallets*, distribuindo em duas pilhas o total de amoras que foram colhidas em uma câmara fria. No espaço vazio entre as duas pilhas de amora, instala-se um ventilador em uma ponta e coloca-se uma lona no final do túnel formado. A pressão negativa criada pelo túnel com o fluxo de ar permite a remoção do ar quente presente nas embalagens para o ambiente (Samtani; Kushad, 2015).

Um distúrbio frequentemente relatado na pós-colheita de amora é o *reddening*. Esse distúrbio fisiológico na pós-colheita é caracterizado pela alteração de cor das *druplets* da amora para um tom mais avermelhado, o que pode ser um fator não atrativo para o produto. As razões pelas quais isso pode ocorrer são: determinados cultivares, colheitas adiantadas, temperaturas de colheita acima de 25°C, frutas imaturas, composições químicas e condensação presente do fruto (Fernandez; Ballington, 1999).

Para o padrão de qualidade da amora, a mensuração de açúcares solúveis e de ácidos orgânicos é fundamental. Adicionalmente, a qualidade da amora é muito interligada à sua quantidade de metabólitos secundários e primários que são disponíveis ao consumidor, sendo estes metabólitos fenólicos associados à benefícios para a saúde humana (Lee, 2018). A fim de sanar problemas de frutos esmagados ou machucados, é importante que a embalagem não contenha amoras em excesso e que seja regulado o espaço utilizado dentro da embalagem entre 3 a 4 camadas de amoras (Samtani; Kushad, 2015).

Em pequenos frutos (como a amora) o processo de lavagem e sanitização com cloro não é recomendável (Figura 1.16), uma vez que estes frutos são muito sensíveis e essas etapas podem acarretar em danos ao fruto bem como deixá-los propícios ao estrago durante o armazenamento (Adhikari; Kharel; Fontenot, 2019). A alta perecibilidade desse tipo de fruto é um fato notável, o que cria uma demanda para que ocorram desenvolvimento de tecnologias de armazenamento que propiciem um prolongamento da vida de prateleira do fruto (Lee, 2018).

Figura 1.11 - Amoras frescas recém-colhidas prontas para o acondicionamento



Fonte: O autor.

No Brasil, a demanda por amora fresca é crescente e precisa de maior atenção no que tange a pesquisa da pós-colheita, sendo necessária a definição de recipientes de armazenagem ideais, por exemplo (Antunes *et al.*, 2014). Ressalta-se que esta fruta possui procura particular na gastronomia, especialmente na decoração de sobremesas de bolos e tortas.

1.5.4 Abóbora de Pescoço (*Cucurbita moschata* Duch.)

1.5.4.1 Aspectos botânicos e breve histórico

Os registros históricos apontam que as variações comestíveis dos tipos de frutos de abóbora que conhecemos e que integram do gênero *Cucurbita* são originários de espécies nativas que tiveram suas linhagens domesticadas na América do Norte (Paris, 1989). Abóboras são vegetais comuns no Brasil e possuem uma ampla variação de tipos, sendo parte da alimentação de grande parte da população (Figura 1.17).

Figura 1.12 - Abóboras de pescoço da variedade “Menina Rajada” logo após a colheita durante o transporte do campo



Fonte: O autor.

Das 1000 espécies de cucurbitáceas no mundo, 10 são consideradas como de importância econômica (*major crops*) (Chomicki; Schaefer; Renner, 2020). A família *Cucurbitaceae* surgiu nas Américas do Sul e Central há pelo menos 9.000 anos (Bachmann; Adam, 2010), sendo que os cultivares dessa família podem se diferenciar no que diz respeito à caracterizações morfológicas, quando comparados com as espécies silvestres (Gong *et al.*, 2012).

Após o contato de europeus com os povos ameríndios, a família das abóboras foi dispersada para outros continentes pelas viagens transoceânicas ocorridas no século XVI (Paris *et al.*, 2006) com o eventual surgimento de outras variedades de *cucurbita* na Europa nos séculos posteriores (Paris, 1989).

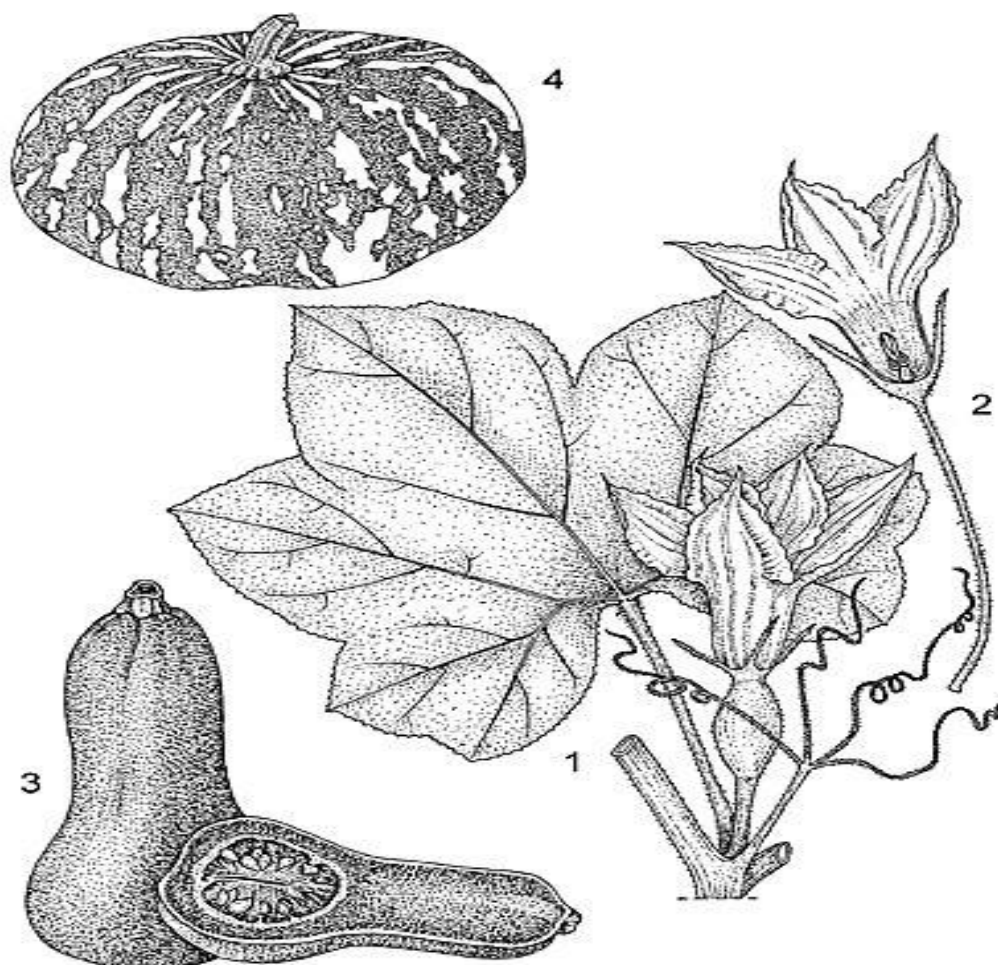
As abóboras eram conhecidas em algumas culturas como uma das “três irmãs”, que era um sistema de consórcio efetuado pelos indígenas norte-americanos. Nesse sistema, o plantio de milho, abóbora e feijão era realizado ao mesmo tempo em um mesmo local de plantio, onde a ocorrência dessas plantas de maneira concomitante proporcionava benefícios agrícolas mútuos entre as espécies (OECD, 2016). De modo

similar, as três culturas agrícolas na América do Sul no período pré-colombiano eram o milho, a mandioca e a abóbora (Barbieri, 2012).

As abóboras são plantas anuais que podem ter hábito de crescimento determinado ou indeterminado e geralmente apresentam gavinhas. São plantas de enraizamento raso que se espalham por uma grande área. Suas raízes podem crescer nas vinhas que crescem no solo, enraizando segmentos do caule no solo. Raízes formam-se nos lugares onde brotam folhas da planta. Apresenta flores masculinas e femininas, que se beneficiam da ocorrência de polinização por entomofilia (polinização executada por insetos) (Newenhouse, 2012).

A Figura 1.18 apresenta um desenho botânico representando o aspecto comum do ponto de vista morfológico para fins taxonômicos em plantas caracterizadas como abóboras *cucurbita*. Destaca-se o aspecto da folha (1) e da flor (2), bem como a presença de gavinhas e a diversidade de formato de frutos, podendo ser alongado (3) ou achatado (4).

Figura 1.13: Ilustração demonstrando características botânicas da família das cucurbitáceas.



Fonte: Prow (2020).

Dentre todas as espécies do gênero, as mais importantes em termos agrônômicos são a *Cucurbita maxima*, *Cucurbita moschata* Duchesne e *Cucurbita pepo* (OECD, 2016). Dentre o que caracteriza as diferentes variedades de *moschata*, estas são conhecidas por apresentarem particular alongação no pescoço (*necked*), polpa com textura granificada fina além de um excelente sabor (Bachmann; Adam, 2010). Dentre as espécies cultivadas de abóbora de pescoço, podemos citar a variedade “Menina Rajada”. Nos dias de hoje as abóboras são cultivadas ao redor de todo o globo em larga escala, com os dados do FAOSTAT indicando que no ano de 2018 foram produzidas, aproximadamente, 27.643.932 toneladas distribuídas em 2.042.955 hectares (2020).

É importante destacar que esse número é uma contabilização estimada para uma escala mundial, que pode ter dificuldades em calcular o que é consumido em comunidades tradicionais ou por produtores autossuficientes, portanto o número “real”

pode ser superior ao listado. Além do valor econômico e alimentar, o cultivo de cucurbitáceas apresenta grande importância social ao gerar empregos diretos e indiretos em toda sua cadeia de produção à comercialização (Marcelino; Marcelino, 2012). A importância deste alimento é relacionado ao valor nutricional bem como a sua versatilidade culinária, contudo é citado que esse produto é benéfico para a diversificação de propriedades agrícolas familiares (Ramos *et al.*, 2010).

As cucurbitáceas são conhecidas por suas propriedades nutricionais e medicinais, sendo vegetais de baixo valor calórico e nutritivos devido ao seu elevado teor de vitamina A (Bhardwaj *et al.*, 2017), e de ser fonte das vitaminas B, C, contendo também sais minerais, ferro, cálcio, magnésio e potássio (Amaro *et al.*, 2014). A composição bromatológica para 100 gramas de partes comestíveis de *Cucurbita moschata* Duchesne mostra: 96% de umidade, 14 kcal de energia, 1 grama de proteínas, traços de lipídios, 3 g de carboidratos, 1,2 g de fibras alimentares, 0,4 g de cinzas, 9 mg de cálcio e 4 mg de magnésio (NEPA - UNICAMP, 2004).

1.5.4.2 Pós-colheita e processamento mínimo de abóbora

Durante o armazenamento são relatados danos relacionados ao resfriamento em abóboras estocadas sob temperaturas inferiores à 10°C. Além disso, o armazenamento em temperaturas de 0 a 4°C pode acarretar no surgimento de depressões na casca (*sunken pits*) e depreciação dos aspectos sensoriais, ainda que possa evitar o amarelecimento do fruto. Danos por congelamento podem ocorrer na temperatura de 0,8°C (Cantwell; Suslow, 1998)

O tempo de vida útil pode chegar à variar de 2 a 6 meses quando estocado à temperatura de 12,5 a 15°C (Cantwell; Suslow, 1998), com 50 a 70% de umidade relativa no ambiente (Mansour, 2009). Na família das *Cucurbitaceae*, a abóbora figura como uma representante que pode ser armazenada por longos períodos (Bhardwaj *et al.*, 2017) que podem variar de 1 a 6 meses conforme a variedade (Mansour, 2009).

O processamento mínimo da abóbora pode resultar em incremento da comercialização e agregação de valor ao produto. Comumente, o processamento mínimo de abóbora contempla as etapas de pré-lavagem, corte, sanitização, enxague, embalagem e armazenamento (Silva *et al.*, 2013). Silva *et al.* (2013) descreve todo o conjunto metodológico de procedimentos para o processamento mínimo de abóbora

de maneira clara e minuciosa, sendo essa a recomendação técnica mais adequada a ser seguida.

Inicialmente, o fruto cucurbitáceo deve sofrer a pré-lavagem, que propicia a remoção de sujidades provindas do campo de cultivo. Na etapa de descascamento e corte é necessário utilizar faca afiada de aço inoxidável que propicie boa qualidade de corte. Se recomenda que as abóboras sejam cortadas em cubos, palitos ou meia lua (Figura 1.19) e envoltas em saco de *nylon* que facilite o manuseio do produto durante o processamento mínimo.

Figura 1.14: Abóbora de pescoço após etapa de processamento mínimo em corte de meia lua



Fonte: O autor.

Uma metodologia viável para a obtenção desse produto pode ser adaptada de Salata *et al.* (2010). Após finalizados os cortes, os pedaços devem ser imersos em água resfriada a 5°C contendo 150 mg/L de cloro ativo por 10 minutos, sendo essa etapa fundamental para a redução de atividade metabólica no tecido vegetal, além da ação antimicrobiana do sanitizante ser beneficiada pela água resfriada. Na sequência, se faz necessário o enxágue da abóbora em água a 5°C por 5 minutos para que haja a remoção do excesso de cloro.

Na sequência, o produto pode ser então embalado. A embalagem de produtos minimamente processados evita a perda de água, além de proteger contra contaminações, minimizando possíveis perdas nutricionais durante o armazenamento. Recomenda-se para a abóbora minimamente processada a estocagem sob temperatura de 5°C (Salata; Evangelista; Cardoso, 2010). A embalagem e disposição do produto minimamente processado deve ser organizado de tal forma que não haja a sobreposição ou pressão sobre o produto antes, durante e depois do empacotamento e expedição.

CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS A BASE DE AMIDO E BAGAÇO DE MALTE

Resumo

O bagaço de malte (BM) é um resíduo agroindustrial que pode ser associado ao amido de mandioca para a obtenção de materiais termoplásticos. Mediante a formulação de blendas com diferentes concentrações de BM (0%, 9%, 18% e 27%), o capítulo objetivou a produção de bioplásticos por termoprensagem acompanhada da caracterização científica da espessura, solubilidade, permeabilidade ao vapor de água, espectroscopia, microscopia eletrônica, análise termogravimétrica e de propriedades mecânicas além da avaliação de compostagem do material. As espessuras médias do material atingiram valores de 0,35 cm. Os valores de permeabilidade atingiram $10^{-8} \text{ g.m}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{s}^{-1}$ enquanto que a menor solubilidade detectada dos materiais foram na média de 7,35% para as formulações em 9 e 18% de BM, respectivamente. A espectroscopia de infravermelho não apresenta novos compostos provenientes de reações químicas entre os componentes do material. A microscopia eletrônica de varredura indicou materiais com superfície heterogênea e sem tendência à separação de fases, demonstrando estabilidade no compósito a base de amido e adicionado com bagaço de malte. As curvas de análise termogravimétrica indicaram que a adição de BM não interferiu na estabilidade térmica do bioplástico, enquanto os testes mecânicos favoreceram o uso de bagaço de malte considerando a elongação máxima nos teores que variam de 9 a 18%. Os testes de compostagem comprovaram que todos os bioplásticos podem ser manejados após descarte mediante a degradação em condições ambientais por compostagem, não havendo efeitos deletérios significativos da adição do compósito do bagaço de malte. O acréscimo quantidade de BM demonstra correlação positiva com o aumento da espessura, sendo comum para todos os bioplásticos grande capacidade de elongação.

Palavras-chave: Plástico renovável; caracterização de biomateriais; compostagem de bioplásticos.

Abstract

Malt bagasse (BM) is an agro-industrial waste that can be combined with cassava starch to obtain thermoplastic materials. By formulating blends with different concentrations of BM (0%, 9%, 18% and 27%), the chapter aimed to produce bioplastics by thermopressing accompanied by the scientific characterization of thickness, solubility, permeability to water vapor, spectroscopy, electron microscopy, thermogravimetric analysis and mechanical properties, in addition to the evaluation of the material's composting. The average thickness of the material reached values of 0.35 cm. The permeability values reached $10^{-8} \text{ g.m}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{s}^{-1}$ while the lowest solubility detected of the materials was on average 7.35% for the formulations with 9 and 18% BM, respectively. Infrared spectroscopy did not show new compounds resulting from chemical reactions between the components of the material. Scanning electron microscopy indicated materials with heterogeneous surfaces and no tendency to phase separation, demonstrating stability in the starch-based composite added with malt bagasse. The thermogravimetric analysis curves indicated that the addition of BM did not interfere with the thermal stability of the bioplastic, while the mechanical tests favored the use of malt bagasse considering the maximum elongation in contents ranging from 9 to 18%. The composting tests proved that all bioplastics can be handled after disposal through degradation in environmental conditions by composting, with no significant deleterious effects from the addition of the malt bagasse composite. The increased amount of BM shows a positive correlation with the increase in thickness, with a high elongation capacity being common to all bioplastics.

Keywords: Renewable plastic; characterization of biomaterials; composting of bioplastics.

2.1 INTRODUÇÃO

O amido é um polímero natural com grande potencial para o desenvolvimento de bioplásticos (Loureiro, 2021) e o bagaço de malte (BM) cervejeiro pode ser aplicado na obtenção de compósitos a serem empregados na indústria de bioplástico, uma vez que esse sólido integra 85% da massa total de resíduos da indústria cervejeira (Zeko-Pivač *et al.*, 2022). A adição do BM em compósitos tem o intuito de viabilizar a utilização

do subproduto como material de reforço de caráter fibroso no material bioplástico, além de ser compatível com a possibilidade de biodegradação.

Dentre as vantagens do uso de bagaço de malte na tecnologia de materiais, cita-se a conclusões de Aliyu e Bala (2011) que apontam para a utilidade desse subproduto da indústria cervejeira para diversas potenciais finalidades industriais devido a sua alta quantidade de celulose. Os autores constatam também que pesquisas envolvendo o uso desse material são necessárias.

O bagaço de cervejaria pode aumentar a lucratividade no setor de embalagens devido a três fatores específicos: grande quantidade de oferta desse subproduto na indústria, alto valor de biomateriais e baixo custo (Qazanfarzadeh *et al.*, 2023). Com tais vantagens elencadas, urge a necessidade de se testar o material em condições inéditas em prol do desenvolvimento científico do setor de bioplásticos.

Adotando o objetivo de se criar um material viável para aplicação na pós-colheita de hortifrúti, houve o processamento de blenda bioplástica. A fim de se analisar o mesmo fisicamente e quimicamente além de se determinar se o material é biodegradável, fez-se imperativo a exploração científica do material termoplástico obtido pela associação de amido de mandioca com bagaço de malte.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Materiais

A obtenção do compósito bioplástico para aplicações na pós-colheita foi sistematizado priorizando o emprego majoritário de amido de mandioca, produzido pela Indemil (Paranavaí, Brasil) *Jade Leaf* (Bancoque, Tailândia) e *Cock* (Bancoque, Tailândia), apresentados na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Amidos de mandioca empregados no veículo bioplástico para óleo essencial



Fonte: O autor.

O bagaço de malte empregado nos foi fornecido pela empresa Leibinger (Ravensburg, Alemanha) e pela empresa Koch Bier (Ponta Grossa, Paraná). O agente plastificante empregado durante todas as fases da tese foi o glicerol, proveniente da empresa Dinâmica (Diadema, Brasil).

2.2.2 Métodos

Os métodos empregados compreenderam metodologia adaptada das etapas demonstradas por Florindo (2017), cumprindo um protocolo que visa processar, secar e padronizar o bagaço de malte a ser utilizado.

2.2.2.1 Processamento do bagaço de malte

O material úmido fora coletado logo após a etapa de brassagem na fabricação de cerveja. Baseando-se na metodologia de Ludka et al. (2024), imediatamente após a filtração, o mosto foi seco em estufa com circulação a ar em 65°C durante 72 h

(Figura 2.2) em uma estufa ventilada (Fornitec, São Paulo, Brasil), resultando em um produto seco e não padronizado (Figura 2.3).

Figura 2.2 – Bagaço de malte condicionado para secagem em estufa



Fonte: O autor.

Figura 2.3 – Bagaço de malte após a secagem e antes do processo de moagem

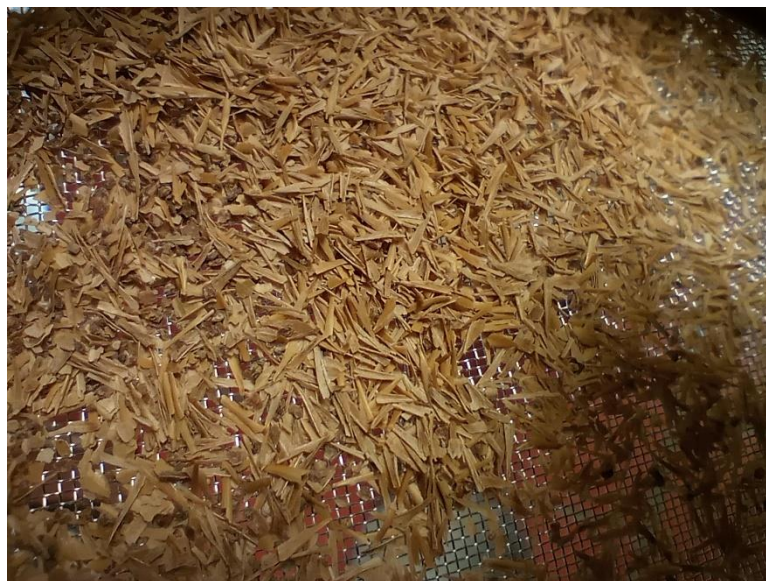


Fonte: O autor.

Tal processo ocorre com o adicional monitoramento da condição do malte durante o procedimento, garantindo umidade final inferior à 10% (m/m). Com o produto

não uniformizado e com várias fibras irregulares (Figura 2.4), o resíduo passa pelo processo de moagem (Figura 2.5) por meio de triturador de hélices (IJR-A, Arno, Brasil) e posterior etapa de tamisação com uso de tamises na categoria de 60 *mesh*, sendo o produto tamisado inferior à 60 *mesh* empregado.

Figura 2.4 – Material retido do processo de peneiramento de bagaço moído, a fim de uniformizar o tamanho de composto



Fonte: O autor.

Figura 2.5 – Moedor de grãos apresentando aspecto do bagaço de malte após processo de moagem



Fonte: O autor.

Diferentes formulações do compósito biopolimérico constituído por amido de mandioca associado com bagaço de malte foram testadas. No capítulo 5 foi testado o compósito sem a adição de ingredientes ativos, focando estritamente no desempenho térmico e mecânico da embalagem. Posteriormente foram utilizados ativos nas formulações dos compósitos.

2.2.2.2 Elaboração das embalagens biodegradáveis

A mistura dos componentes foi submetida ao tratamento de termopressagem em chapa aquecedora (Splendore, Cadence, São Paulo) por 10 min sob a temperatura aproximada de 180°C (Figura 2.6) das formulações expressas no Quadro 2.1. As formulações foram codificadas obedecendo a estrutura de AMXXB. O código indica primariamente valores numéricos em determinadas porcentagens ("XX") que correspondem ao agente de reforço de bagaço (B) de malte associado ao amido de mandioca (AM).

A utilização de uma amostra negativa, sendo uma bandeja de poliestireno expandido, foi realizada a fim de determinar o desempenho de embalagens biodegradáveis quando comparadas com uma convencional no armazenamento das amoras. Os materiais biodegradáveis obtidos apresentaram as seguintes medidas: 11,2 x 5 x 0,35 cm (Comprimento x Largura x Espessura). Todas as análises foram conduzidas em triplicata.

Figura 2.6 – Amido termoplástico prensado em prensa térmica



Fonte: O autor.

Quadro 2.1 – Proporções utilizadas para as embalagens biodegradáveis*

Formulação	Amido (g.100g⁻¹)	Bagaço de malte (g.100g⁻¹)	Glicerol (g.100g⁻¹)
AM0B	91	0	9
AM9B	82	9	9
AM18B	73	18	9
AM27B	64	27	9

*As formulações foram adicionadas de 100 g de água destilada.

2.2.2.3 Caracterização do compósito bioplástico

2.2.2.3.1 Espessura e dimensões

A análise de espessura foi efetuada mediante uso de micrômetro digital (Mitutoyo – São Paulo), com sensibilidade de 0,001 mm. Para a verificação das dimensões, um paquímetro foi empregado. O resultado foi determinado pelo cálculo da média aritmética de dez medidas aleatórias sobre a amostra de bioplástico prensado.

2.2.2.3.2 Solubilidade

As amostras foram previamente secas em dessecador contendo cloreto de cálcio anidro por 3 dias. Na sequência, as amostras foram pesadas em balança gravimétrica e imersas em de água destilada na proporção de 30:1 (água:amostra) por 48 h em 25°C. Após esse período, as amostras foram secas a 105°C por 4 h e pesadas novamente, sendo essa massa utilizada para calcular a perda de peso em base de água das amostras de bioplásticos, adaptando e empregando metodologia explorada por Travalini (2019) e Ojagh et al. (2010). W_1 corresponde a massa do bioplástico (g) e W_2 corresponde a massa do resíduo (g) na Equação 2.1:

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \quad (2.1)$$

2.2.2.3.3 Permeabilidade ao vapor de água (PVA)

A análise de permeabilidade seguiu a metodologia estipulada pela *American Society for Testing and Material* (ASTM E 95-96, 1995), iniciando pelo acondicionamento das amostras em umidade relativa de 53% por 7 dias consecutivos. Após isso, o bioplástico foi posicionado em uma cápsula de vidro contendo uma abertura circular de 60 mm de diâmetro da célula de permeação, sendo selada com o uso de cola Epóxi, a fim da transmissão de umidade passar exclusivamente pela amostra. O interior do frasco foi preenchido com cloreto de cálcio ($UR \approx 0$) e o sistema foi introduzido em dessecador contendo solução saturada de NaCl correspondendo a 75% UR (umidade relativa), produzido um gradiente de umidade relativa que força a passagem de vapor de água pelo bioplástico.

Foram executadas sucessivas pesagens realizadas a cada hora por um intervalo de tempo de 12 h e após 24 h com a finalidade de registrar o ganho de massa sofrido pela amostra em função do tempo, sendo a função plotada e obtido o coeficiente angular por meio da equação da reta conseguida por cálculo de regressão linear. A taxa de permeabilidade ao vapor da água (TPVA) foi calculada por meio da Equação 2.2.

A incógnita A designa área de permeação do corpo de prova (m^2). O valor final da PVA foi calculada mediante equação e metodologia adaptada de Travalini (2019) e ASTM D1653 (, 2013), com a permeabilidade ao vapor de água (PVA) sendo calculado na unidade de $g.m^{-1}.Pa^{-1}.s^{-1}$ pela Equação 2.3:

$$TPVA = m/t \times 1/A \quad (2.2)$$

$$PVA = \frac{TPVA \times L}{\Delta p} \quad (2.3)$$

2.2.2.3.4 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A técnica de análise via FTIR visa a investigação da configuração de estruturas moleculares passíveis de detecção nas diferentes formulações dos compósitos. Os espectros de FTIR dos biopolímeros foram obtidos mediante o uso de espectrofotômetro FTIR modelo IRPrestige-21 com acessório de refletância difusa do

tipo DRS-8000 da marca Shimadzu (Quioto, Japão). Os espectros foram analisados mediante *software* IRsolution (Quioto, Japão). A região espectral analisada foi na região de $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ mediante uso de cristal ZnSe. Efetuou-se um total de 16 varreduras em resolução de 4 cm^{-1} .

2.2.2.3.5 Microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo (MEV-FEG)

Para visualização da morfologia do material biopolimérico desenvolvido foi utilizado microscópio de varredura (Mira 3, Tescan, Brno, República Tcheca). As amostras foram mantidas em dessecador por 7 dias (UR=0%) congeladas em temperatura de $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por um dia e fraturadas imediatamente após remoção do congelamento. As amostras foram revestidas com ouro mediante *Sputter Coater* BAL-TEC SCD 050 e analisadas sob voltagem de aceleração de 15 kV.

2.2.2.3.6 Análise termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica foi adaptada da metodologia implementada por Travalini (2019) e Moreno et al. (2017), sendo executada em um aparelho LABSYS EVO DTA/DSC (Setaram Instrumentation, France). A taxa de aquecimento foi de $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por min sob atmosfera de argônio. A amplitude térmica compreendida foi de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ até 600°C . Foi calculada a dTG para cada curva termogravimétrica.

2.2.2.3.7 Propriedades mecânicas

A análise mecânica seguiu a metodologia da *American Society for Testing and Material* (ASTM D882, 2002) realizado em máquina universal de ensaios (Shimazu, Japão). Previamente, antes da aplicação do teste, ocorreu o preparo de oito amostras por formulação com o corte destas nas proporções de $50 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$, sendo estas condicionadas a UR 53% por 48 h. As seguintes propriedades de tração foram quantificadas: tensão máxima na ruptura (MPa), alongamento na ruptura (%) e módulo de Young (MPa), à uma velocidade de teste de 50 mm/min e distância entre garras de 30 mm .

2.2.2.3.8 Determinação dos parâmetros de compostagem dos compósitos

Essa análise ocorreu em composteiras especializadas para fins experimentais localizadas na Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), *Campus Irati*. Empregou-se composteira comercial montada dentro de estrutura de estufa a fim de controle de umidade e temperatura para o desenvolvimento do trabalho.

O abastecimento da composteira ocorreu mediante o uso de resíduos orgânicos verdes como restos e cascas de vegetais provenientes do Restaurante Universitário da Universidade Estadual do Centro-Oeste e de abastecimento domiciliar havendo a seleção de resíduos orgânicos apropriados. Dentre os compostos secos, estes resíduos secos foram obtidos dos resíduos de capina.

As composteiras de cubo ou caixa (Ishimura *et al.*, 2006) foram dimensionadas havendo a proporção de 70% de resíduos orgânicos secos e 30% de resíduos orgânicos verdes. Dentre os resíduos orgânicos verdes, foi-se estabelecido que 10% destes eram proporcionais a quantidade de biopolímeros compondo o volume dos resíduos orgânicos verdes, a fim de que houvesse uma representatividade adequada para o processo de compostagem experimental. De acordo com os procedimentos recomendáveis para compostagem (ABNT, 1996; MPE, 2022), todos os resíduos orgânicos verdes incluindo os biopolímeros estudados foram devidamente cortados e homogeneizados na mistura a sofrer compostagem.

Não se empregou qualquer tipo de controle de temperatura no estabelecimento onde se empreendeu a compostagem, observando-se o acréscimo de temperatura nos períodos do dia em que a incidência de radiação solar era superior, o que propiciou uma maior amplitude térmica na evolução de temperatura.

Apesar de a estufa ser suscetível às variações de temperatura externa, foi estabelecido que o período de ocorrência do experimento seria durante o Outono e Inverno brasileiro compreendido no clima Cfb (Aparecido *et al.*, 2016) havendo portanto, a incidência de temperaturas baixas e mais amenas externas à estufa.

Para a etapa avaliativa da compostagem, utilizou-se as proporções entre ingredientes conforme discriminado no Quadro 2.7. Além da unidade de compostagem onde foram introduzidos os biopolímeros, houve também o estabelecimento de uma unidade de compostagem separada para fins de referência de controle. O material amostral avaliado foi primeiramente identificado e teve suas análises executadas em

laboratórios da instituição e sofreu o mesmo protocolo de manufatura aplicado nos demais bioplásticos.

Quadro 2.2: Proporções de ingredientes dos bioplásticos avaliados durante o teste de biodegradabilidade

Unidade de compostagem	Tratamento	Bagaço de malte (%)	Amido termoplástico (%)	Água (mL)	Glicerol (%)
Composteira contendo biopolímeros	AM0B	0	90	100	10
	AM9B	9	81	100	10
	AM18B	18	72	100	10
Composteira de controle	Controle	-	-	-	-

O monitoramento dos parâmetros físico-químicos referentes à matéria orgânica foram avaliados semanalmente (%) enquanto que os parâmetros pH, temperatura (°C) e umidade (%) foram mensurados diariamente, sendo estes estabelecidos conforme controle do processo de compostagem do Manual de Métodos de Análise de Solos (Teixeira *et al.*, 2018) e da compostagem de material de natureza orgânica disposto em Nota Técnica do Paraná (MPE, 2022).

A evolução da escalada de temperatura é explicitada em representação gráfica cinética, onde estabeleceu-se a determinação da temperatura pelo cálculo da média aritmética simples dos últimos três dias com o intuito de mitigar a variação térmica de cada um dos três últimos dias.

Na compostagem para avaliação de matéria orgânica, ocorre o processo natural de decomposição da matéria orgânica biodegradável residual (ABNT, 1996), sendo considerada uma técnica de replicação do processo natural ocorrente no meio ambiente (Schalch; Massukado; Bianco, 2015).

O cálculo de matéria orgânica fez-se mediante a diferença do peso da amostra seca sob exposição do composto a uma temperatura de 105 °C, durante 24 h, com o peso remanescente após a incineração do material em mufla sob 550°C durante 1 hora seguindo roteiro compreendido no método da mufla para quantificação de matéria orgânica (Carmo; Silva, 2012), havendo a discriminação dos valores

mensurados na equação (Equação 2.4) a fim de se encontrar o valor em porcentagem de matéria orgânica (MO).

$$MO (\%) = \frac{(Mi-PC)-(Mf-PC)}{(Mi-PC)} \times 100 \quad (2.4)$$

Legenda: PC = Peso do cadinho (g); Mi = Massa inicial após 24 h na estufa + PC (g); Mf = Massa final após 1 h na mufla + PC (g).

Os quantificadores para as diferentes amostras analisadas durante a avaliação de compostagem foram o potencial hidrogeniônico, temperatura e umidade. A determinação de pH foi efetuada mediante uso de potenciômetro fazendo uso de eletrodo imerso em mistura da amostra diluída sob água destilada. A temperatura no interior da massa de compostagem foi mensurada nas profundidades de 10 a 20 cm.

O cálculo da umidade foi efetuado mediante a diferença detectada em pesagem sob balança gravimétrica do peso da amostra antes e depois da secagem em estufa em 105 °C pelo período de 24 horas. O valor obtido é transcrito como % fazendo uso da Equação 2.5:

$$U (\%) = \frac{(Mi-PC)-(Mf-PC)}{(Mi-PC)} \times 100 \quad (2.5)$$

Legenda: PC = Peso do cadinho (g); Mi = Massa inicial + PC (g); Mf = Massa final após 24 h na estufa (peso do cadinho + amostra) (g).

2.2.2.3.9 Análise Estatística

Os resultados obtidos do monitoramento das unidades de compostagem foram registrados em planilha eletrônica no software Microsoft Excel® e submetidos a análises descritivas fazendo uso de tabelas e representações gráficas. O software *Origin* também foi usado na elaboração de gráficos específicos além do software *Statistica* (Statsoft, Tulsa, EUA) e do Microsoft Excel®, o qual foi utilizado nas análises de variância (ANOVA) e teste de Tukey (p<0,05), empregado para a detecção de diferenças entre médias. Esse software foi empregado em construções gráficas durante o estudo.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Espessura e Dimensões

O material obtido se assemelhou a um poliestireno expandido endurecido. A caracterização dos materiais biodegradáveis mostrou dados de espessura (Tabela 2.1) crescentes em relação à quantidade de bagaço adicionada em maior quantidade (AM27B), apresentando diferença estatística. A morfologia dos grânulos de amido pode influenciar positivamente os índices de espessura de materiais bioplásticos feitos de amido (Jayarathna; Andersson; Andersson, 2022). Jethoo (2019) aponta que ao aumentar as proporções de fibras na mistura de filmes bioplásticos, constata-se uma correlação com alterações em parâmetros físicos do material.

As espessuras variavam de aproximadamente 3,7 mm sem bagaço e que progressivamente aumentou conforme foi adicionado bagaço de malte, chegando a quase 6 mm com 27% de bagaço. Em um trabalho que avaliou filmes plásticos de mandioca e batata, se é observado que a maior presença de amilose nos filmes contribui para uma menor espessura de filme, enquanto que a redução dos níveis de amilose são correlacionas com maiores espessuras de filme (Adnan *et al.*, 2023).

Antes do resfriamento, a blenda torna-se maleável e moldável. Após o resfriamento do bioplástico, as placas de compósito mostraram-se rígidas. Esse fato favorece sua aplicação como possíveis bandejas para alimentos, cuja função é dar o suporte necessário aos produtos.

2.3.2 Solubilidade

Baixos valores de solubilidade são interessantes no campo de estudo das embalagens de alimentos (Correia, 2019). Os resultados de solubilidade dos compósitos biodegradáveis estão mostrados na Tabela 2.1, onde uma redução significativa da solubilidade dos materiais foi observada com a inclusão de 9 e 18% de bagaço de malte (AM9B e AM18B), quando comparadas à amostra controle (AM0B).

Segundo estudo de Kayserilioğlu *et al.* (2003) em estudo que tratou de filmes à base de quitosana e glúten, a capacidade de solubilização de uma bioblenda pode se

atrelar às proteínas residuais na mistura, uma vez que a presença destas afeta a solubilidade dos materiais. Ressalta-se que o bagaço de malte contém proteínas em sua caracterização bromatológica na quantidade de aproximadamente 22 g por 100 g de bagaço para o malte tipo *pilsen* (Olivato *et al.*, 2022).

Tabela 2.1 – Espessura (mm) e solubilidade (%) dos materiais biodegradáveis

Amostras	Espessura (mm)	Solubilidade (%)
AM0B	3,76 ^b ± 0,39	24,52 ^a ± 1,63
AM9B	4,20 ^b ± 0,30	7,35 ^b ± 1,06
AM18B	4,44 ^b ± 0,29	9,23 ^b ± 0,76
AM27B	5,93 ^a ± 0,81	26,57 ^a ± 2,15

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey, $p < 0,05$). N=3. Legendas: AM0B – Amido termoplástico; AM9B – Amido termoplástico associado com 9% de bagaço de malte; AM18B – Amido termoplástico associado com 18% de bagaço de malte; AM27B – Amido termoplástico associado com 27% de bagaço de malte.

Pode-se considerar que para as formulações AM9B e AM18B houve uma boa interação química (via ligação de hidrogênio, sobretudo) entre as moléculas de amido e os componentes do BM, como as fibras lignocelulósicas. Esse fato pode ter contribuído para a redução da solubilidade dos materiais nessas amostras. Composições bioplásticas avaliadas na bibliografia que continham amido de mandioca nas percentagens de 0%, 20%, 40% e 60% apresentaram valores que variaram de 6 a 14% de solubilidade em água (Oluwasina *et al.*, 2019), similares às observadas no presente estudo.

Contudo, a composição que não apresentou BM (AM0B) e o tratamento com 27% de bagaço (AM27B) obtiveram as maiores solubilidades. Para a embalagem com alta quantidade de bagaço, pode-se especular que esse alto volume de água absorvível possivelmente diz respeito à presença de muitas fibras celulósicas na composição dos materiais, aumentando sua hidrofiliidade (Rezaei; Motamedzadegan, 2015).

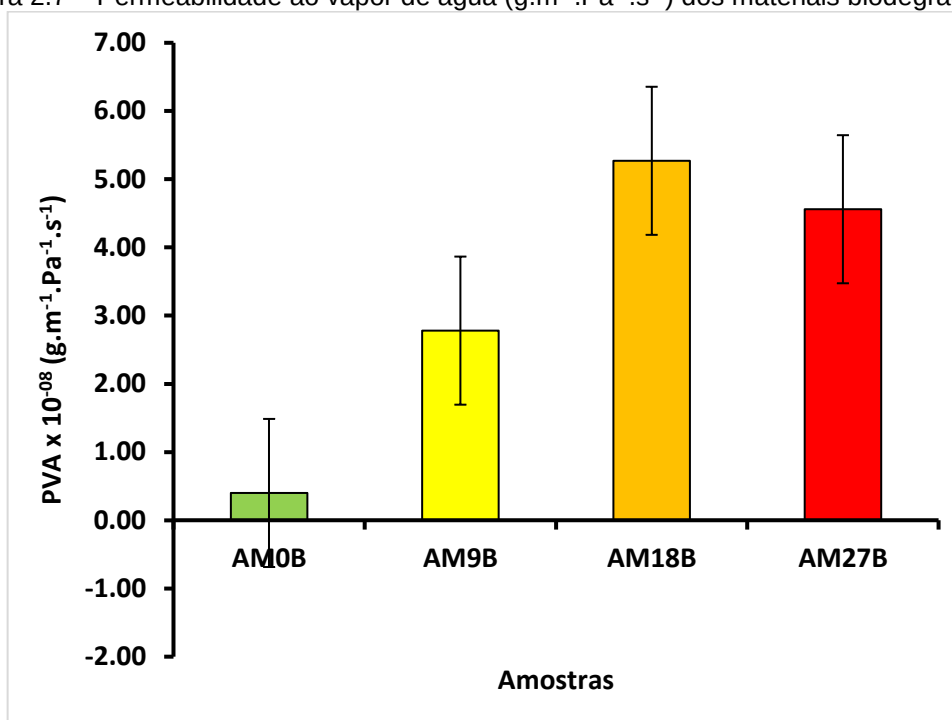
2.3.3 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)

Os valores obtidos da análise de permeabilidade ao vapor de água foram discriminados em gráfico de barra (Figura 2.8). O valor da amostra sem adição de BM (AM0B, de $0,4 \times 10^{-08} \text{ g.m}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{s}^{-1}$) se apresentou como o mais diminuto dentre os quatro avaliados. A inclusão do BM aumentou significativamente os valores de PVA, sem uma correlação direta com a proporção de BM nas formulações. O maior valor de PVA foi observado para a amostra AM18B ($5,27 \times 10^{-08} \text{ g.m}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{s}^{-1}$), seguido pela AM27B ($4,56 \times 10^{-08} \text{ g.m}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{s}^{-1}$) e por fim AM9B ($2,78 \times 10^{-08} \text{ g.m}^{-1}.\text{Pa}^{-1}.\text{s}^{-1}$).

Usualmente, a bibliografia sugere que o uso de compósitos fibrosos agrega em baixa permeabilidade do vapor de água ao bioplástico (Hansen *et al.*, 2012). Tanto é que faz-se recomendável que as fibras naturais sejam usadas como matéria-prima de fabricação somente após o devido cumprimento do protocolo de secagem antes de serem integradas com finalidades bioplásticas (Kavelin, 2005). Muitos fatores podem afetar a performance das fibras em bioplástico, como o processo de fabricação. Kavelin (2005) postula em estudo sobre fibras que a hemicelulose em particular é passível de quebra por meio de ação térmica.

O próprio processo de secagem do material pode ter influenciado, uma vez que este propicia o incremento do diâmetro médio de poros e da porosidade de materiais bioplásticos, sejam eles extrusados ou gelatinizados (Karathanos; Saravacos, 1993).

Figura 2.7 – Permeabilidade ao vapor de água ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) dos materiais biodegradáveis



Fonte: O autor. AM9B – Amido termoplástico associado com 9% de bagaço de malte; AM18B – Amido termoplástico associado com 18% de bagaço de malte; AM27B – Amido termoplástico associado com 27% de bagaço de malte.

A redução da permeabilidade ao vapor da água visualizada é benéfica para a capacidade mecânica do biopolímero relativa a resistência física, tal como relatou Moro et al. (2017) ao verificarem a melhoria de aspectos reológicos de bioplástico a base de amido de milho e de mandioca associado com 4% de da casca de maracujá.

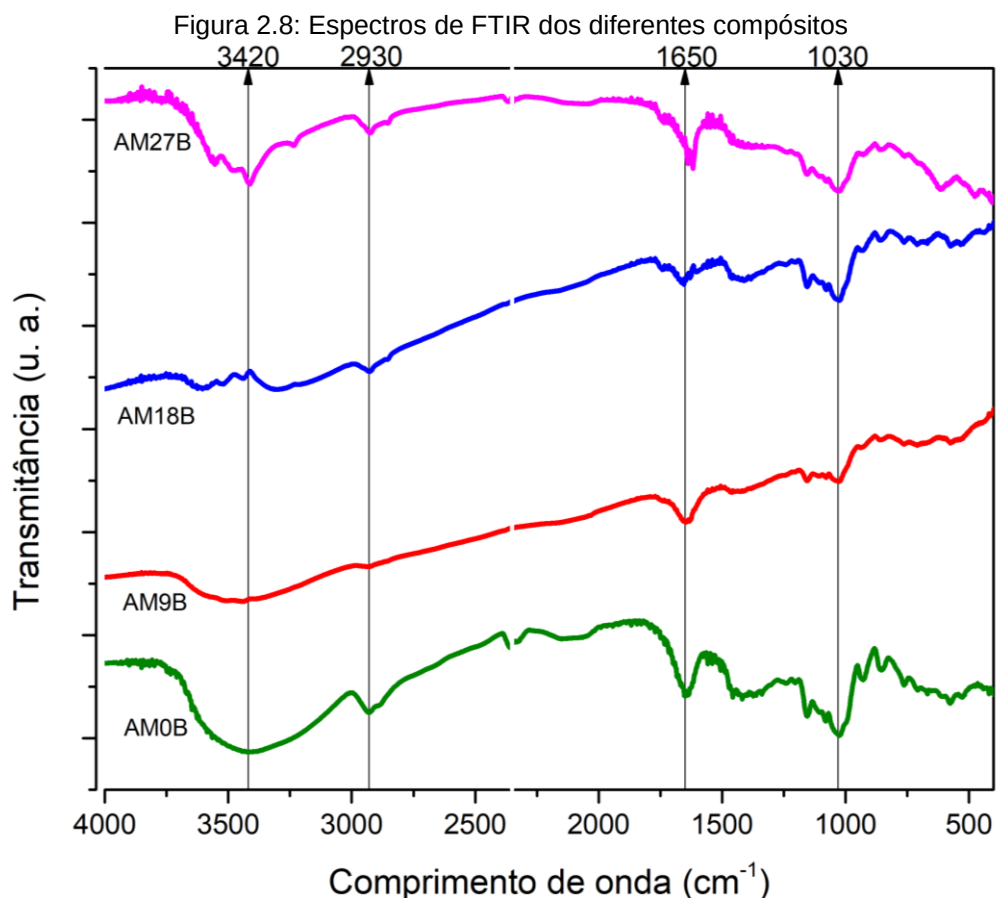
Os valores de permeabilidade são comparativamente superiores aos observados nos materiais amiláceos filmogênicos compostos por amido e glicerol, os quais obtiveram valores em geral na ordem de 10^{-10} a 10^{-11} $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ (Caicedo et al., 2022). Pode-se inferir que a ocorrência de alterações estruturais na absorção gasosa quando se adiciona o biocompósito do bagaço de malte. Essa característica é interessante para embalagens de alimentos, onde o controle da permeabilidade está intimamente relacionado com a qualidade do produto embalado.

A explicação para tal fenômeno jaz no fato de que fibras naturais com aplicações na ciência de materiais (como a celulose e hemicelulose) são passíveis de absorção de água por conta de seu caráter hidrofílico e altamente polar (Kavelin, 2005). Segundo a bibliografia consultada, a quantidade média de celulose e hemicelulose de bagaço de malte sem tratamento é de, respectivamente, $13,79 \pm 0,43$ e $15,32 \pm 0,57$ (Gomes et al., 2023).

Em estudo pertinente a elaboração de bioplásticos de amido de arroz com glicerol plastificante, comprovou-se que o glicerol acarreta em decréscimo da resistência a tração, além de acarretar em maiores valores de PVA (Daudt *et al.*, 2016). O efeito do glicerol propicia a facilitação da adsorção e desorção das moléculas de água, o que aumenta os valores finais de permeabilidade (Mali *et al.*, 2004). Portanto, é possível propor que a quantia padrão de glicerol pode ter tido um efeito sinérgico com o uso crescente de fibras do bagaço (estas também hidrofílicas), acarretando em um efeito onde o perfil hidrofílico das fibras somou-se ao caráter hidrofílico do glicerol.

2.3.4 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de FTIR são apresentados na Figura 2.8, sendo observadas diferenças entre as amostras contendo BM e o Controle. Bandas que se encontram entre 1000 e 1300 cm^{-1} são comuns para amidos e correspondem à ligações C-O e C-OH (Warren; Gidley; Flanagan, 2016). De acordo com Garces *et al.* (2021), nas faixas de 1145 e 1080 cm^{-1} as vibrações detectadas são pertinentes às ligações C-O e C-C presentes no amido. Tais bandas são perceptíveis nos resultados averiguados.



Legenda: AM27B (Roxo): Compósito a base de amido associado com 27% de bagaço de malte; AM18B (Azul): Compósito a base de amido associado com 18% de bagaço de malte; AM9B (Vermelho): Compósito a base de amido associado com 9% de bagaço de malte; AM0B (Verde): Compósito a base de amido associado com 0% de bagaço de malte.

Não houve a ocorrência de bandas novas nos espectros apresentados na Figura 2.8, que forneçam indícios de novas ligações químicas entre os componentes utilizados nos diferentes tratamentos, o que poderia influenciar as características físico-químicas dos compósitos biodegradáveis.

No comprimento de onda de 1030 cm^{-1} observou-se a banda referente às ligações C-OH para todas as formulações testadas. Em especial, observa-se que a banda para a amostra AM0B (sem bagaço) é mais pronunciada que as demais bandas, caracterizando que a adição de bagaço promove diferenciação de bandas a níveis de detecção no infravermelho.

Na faixa de 1650 cm^{-1} as bandas referentes à deformação angular de ligações -OH foram observadas em todos os tratamentos, sendo estes especialmente pronunciados para AM0B e AM27B. Essa observação pode estar correlacionada aos resultados de solubilidade das amostras AM0B e AM27B, uma vez que a predominância de hidroxilas favorece a hidrofilicidade destes materiais, banda já

debatida e exposta por Garces et al. (2021). A evidência em espectroscopia de estruturas fortemente associadas a água nessa banda é presente nos espectros de amidos e também na metilcelulose (Arik; Us, 2014).

Investigações em amido de sorgo de distintos cultivares brasileiros (BRS 305, BRS 310 e BR 501) demonstraram bandas na região 3400 e 1650 cm^{-1} , sendo correlacionadas ao estiramento e a deformação angular de ligações de hidroxila ($-\text{OH}$) (Vieira et al., 2020). Nesse sentido pode-se concluir que na amostra controle (AM0B) houve uma maior intensidade da banda em 1650 cm^{-1} como resultado da deformação angular das ligações $-\text{OH}$. Nas amostras AM9B e AM18B, a realização de interações tipo ligação de hidrogênio enfraquece tal banda, a qual volta a ser pronunciada na amostra AM27B.

Bandas entre 1700 a 1200 cm^{-1} podem indicar a presença de componentes como os lipídios e as proteínas (Warren; Gidley; Flanagan, 2016), corroborando com a composição inerente ao bagaço de malte discutida previamente no trabalho. Luchese (2018) classifica uma diversidade de compostos químicos passíveis de serem visualizados nos espectros entre 1400 até 1600 cm^{-1} , como anéis aromáticos, compostos fenólicos e hidrocarbonetos.

Na região de 2930 cm^{-1} encontra-se a banda referente à ligação C-H. De maneira geral, já se tem catalogado que bandas para farinhas de resíduo de malte, mandioca, além de amido de milho são detectadas em 2800 cm^{-1} , sendo própria de grupos alifáticos CH_2 (Rodrigues, 2022). Para composições amiláceas como amido de batata, amido de milho e amido de trigo existe a detecção de diferentes intensidades de banda entre 2800 e 3000 cm^{-1} , havendo média absorbância em 2911 cm^{-1} (Kizil; Irudayaraj; Seetharaman, 2002).

Os estiramento na região de C-H também são verificados em amostras de amido nas bandas em 2900 cm^{-1} (Warren; Gidley; Flanagan, 2016). Experimentos anteriores que trabalharam com análise de mesma natureza analisando farinha de casca de mandioca, farinha de bagaço de malte e amido de milho relatam que a banda referente ao estiramento das ligações $-\text{OH}$ pode ser verificado desde 3650 até 3584 cm^{-1} para todas as bandas das amostras (Rodrigues, 2022). Na bibliografia que trata do amido de mandioca, os grupos de hidroxila são recorrentes nas bandas de 3600 até 3100 cm^{-1} , sendo reportadas por Garces et al. (2021) ao caracterizar estruturalmente o amido de mandioca.

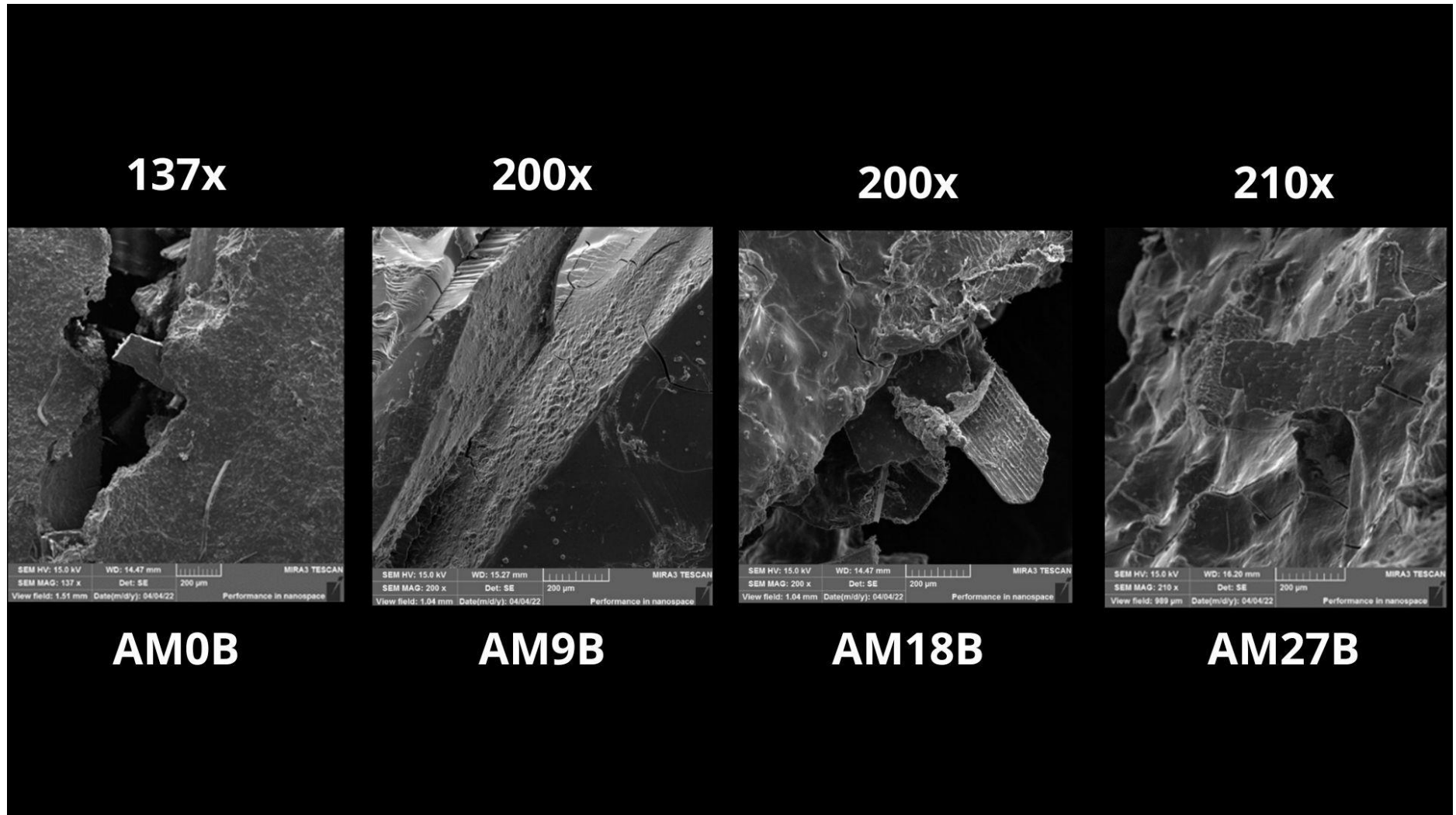
Rodrigues (2022) indica que entre 3500 até 3000 em amostras de amido, ocorre a absorção energética por parte das hidroxilas livres. Havendo em limite semelhante já contemplado em trabalhos anteriores, onde bandas largas entre 3800 e 3000 cm^{-1} são associadas com a presença de hidroxilas (Garces *et al.*, 2021). Amidos de outra natureza, como o amido proveniente da Palmeira-Sagu, onde se verifica o cume da hidroxila alongando em 3300 cm^{-1} (AL-Hassan; Norziah, 2017). Bandas espectrais em 3300 cm^{-1} são também pertinentes a efeitos de umidade e de ligações de hidrogênio das hidroxilas sob vibração (Luchese, 2018).

De acordo com a Figura 2.8, a banda referente às hidroxilas foi mais pronunciada na amostra AM0B, e refere-se às hidroxilas livres presentes na formulação contendo apenas amido de mandioca e glicerol. A inclusão de BM tende a reduzir a banda em 3400 cm^{-1} , uma vez que ligações de hidrogênio ocorrem em tais amostras, favorecendo a boa adesão interfacial entre amido e fibras lignocelulósicas do bagaço de malte.

2.3.5 Microscopia Eletrônica de Varredura com Emissão de Campo (MEV-FEG)

As imagens das fraturas dos compósitos são apresentadas na Figura 2.9. Alterações na superfície são perceptíveis conforme se aumenta a quantia de bagaço (Figura 2.10: 0%, 2.11: 9%, 2.12: 18% e 2.13: 27%) influenciam na percepção de superfície. O aspecto observado nas imagens justifica-se com o exposto no trabalho de Romeira (2019). Pequenas alterações composicionais podem provocar mudanças visíveis no aspecto visual de biopolímeros.

Figura 2.9: Microscopia eletrônica de varredura com emissão de campo nas amostras



Na imagem da Figura 2.10 de legenda AM9B, os grânulos de amido apresentaram aspecto poligonal, congruente com estudo de Ronko, Travalini e Demiate (2020) ao estudarem imagens de grânulos de amido de mandioca. As irregularidades percebidas são indícios de que não houve uma gelatinização completa do material. Todas as imagens obtidas e suas respectivas ampliações apontam para uma visível heterogeneidade do material contendo BM, mostrando a presença de fibras lignocelulósicas provenientes do BM em meio a matriz de amido, dando um aspecto escarpado aos relevos do material ampliado. Observa-se um aspecto de heterogeneidade na superfície do material.

Trabalhos executados que avaliaram a incorporação de bagaço de amora (Chezini, 2022) e extrato de barbatimão em bases amiláceas (Lopes *et al.*, 2018) visualizaram aspectos análogos em seus respectivos estudos morfológicos, denotando similaridades com as descobertas apresentadas em todos os tratamentos. Ocorre a percepção de que bolhas microscópicas podem ser observadas em AM9B, AM18B e AM 27B. Pesquisas pertinentes a análises de materiais poliméricos derivados da mandioca apontam que tal efeito é proveniente de centrifugações na blenda do biopolímero (Travalini, 2019). Possivelmente, a maior quantidade de bagaço de malte na formulação demandaria uma maior intensidade durante a centrifugação devido ao aspecto irregular do compósito de bagaço de malte adicionado em altas dosagem.

As bolhas existentes no material correlacionam-se com a variação de valores na PVA, sendo estas advindas dos processos de termoprensagem que envolve os componentes da blenda formulada (água, amido de mandioca, bagaço de malte e glicerol). Valores elevados de PVA são comuns para materiais similares ao desenvolvido, onde ocorre o incremento de uma maior permeabilidade do vapor d'água devido ao uso de agentes plastificantes, ao mesmo tempo que reduz os valores de elasticidade e resistência a tração (Abe *et al.*, 2021). A imagem ampliada permite que esses pequenos aglomerados de bolhas no material possam ser os responsáveis por um acréscimo na porosidade do material.

Fatores estruturais são importantes na eficiência de materiais porosos, como bioplásticos, em processos industriais que exigem controle de permeabilidade. A ocorrência de fibras naturais em blendas bioplásticas é estudada por Asrofi *et al.* (2018), onde as fibras são descritas como detentoras de compostos amorfos da

lignina, hemicelulose e celulose cristalina. No estudo em questão, a fibra bruta de jacinto-de-água (*Eichhornia crassipes*) demonstrou um alto valor de porosidade. A conjuntura do perfil fibroso do material e da porosidade advinda destes pode indicar com plausibilidade que a quantidade de bagaço e espessura de um material (Tabela 2.1) apresentando correlação positiva com as taxas de permeabilidades calculadas e expostas previamente.

AM27B revela grânulos de amido não gelatinizados. Uma vez que esta foi a formulação com o menor teor de bagaço de malte, o uso de compósitos associados a matriz amilácea podem favorecer o processo de gelatinização do amido.

A ampliação em AM18B, demonstram os grânulos de amido de maneira espaçada e em formato arredondado. Já em AM27B, obteve-se a visualização dos grânulos arredondados e aglomerados. Não foram captadas ampliações superiores a esse limite. Os grânulos de amido obedeceram aspecto morfológico agregado, em consonância com estudos anteriores que investigaram microscopicamente o amido de manga em nanogéis termorresponsivos (Oliveira, 2022).

O fenômeno de rachaduras e irregularidades apresenta paralelo na bibliografia no que tange avaliações de amido de mandioca avaliado via microscopia eletrônica de varredura (Vieira, 2020). Tal efeito pode ser devido ao processo de moagem característico do amido processado que pode gerar danos aos grânulos amiláceos de quaisquer natureza (Bemiller; Huber, 2015), havendo diminuição de tamanho e formação de fissuras quando comparado ao nativo, havendo ocorrência análoga para o amido de milho (He *et al.*, 2014).

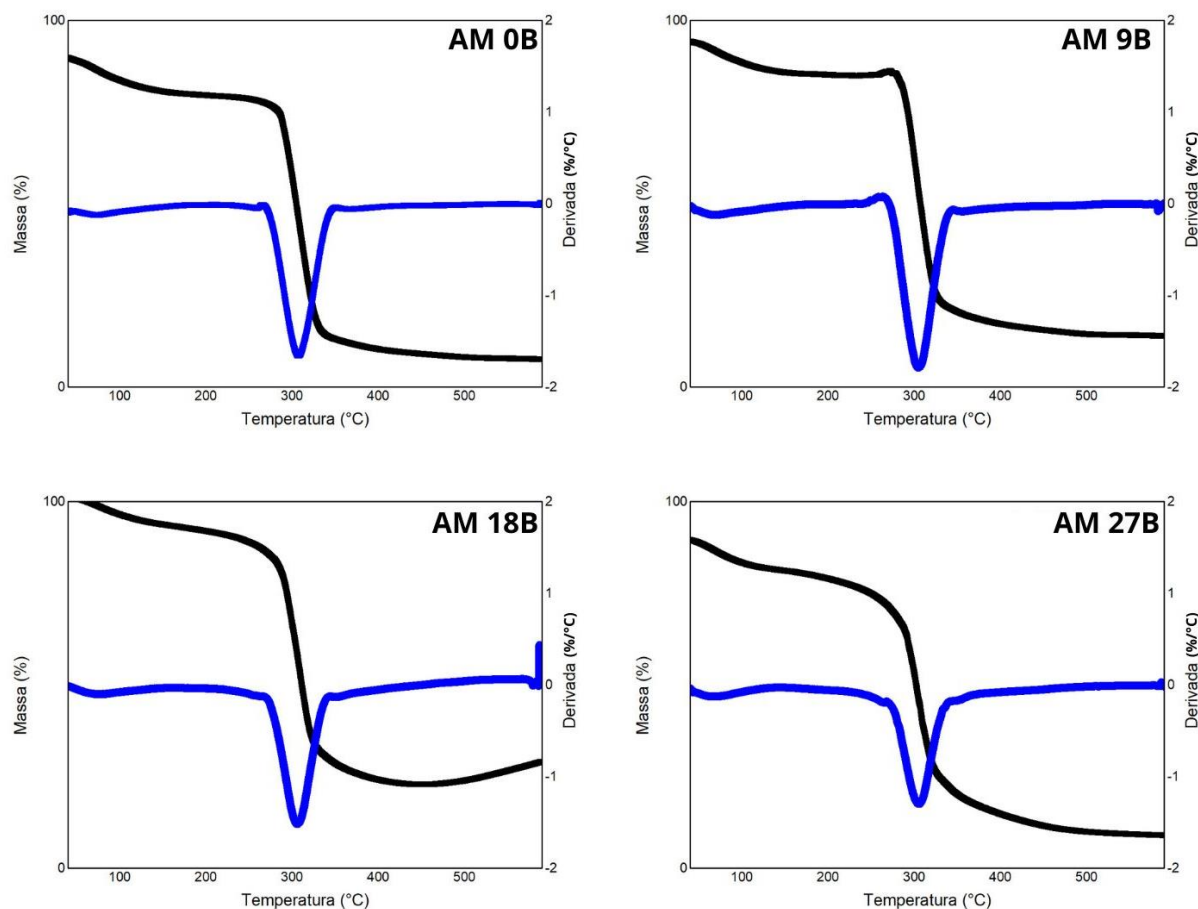
Ainda que a análise por microscopia evidencie irregularidades, potencializadas devido a associação da base amilácea com o compósito, as imagens não revelaram nenhuma falha estrutural grave ou acúmulo excessivo de bolhas de ar, sendo considerado essa característica importante para biopolímeros conforme Schaeffer (2020) pondera em estudo sobre biopolímeros derivados da fécula de mandioca e amido de milho.

2.3.6 Termogravimetria

Os resultados das análises termogravimétricas foram expressos em gráficos de TGA e dTG apresentados na Figura 2.11. Para todas as formulações foram

observados dois estágios de degradação térmica, associados à perda gradual da umidade residual dos compósitos (50 até 270°C), já verificado em filmes de amido de batata (Zhang; Wang; Cheng, 2018) e de milho (Moreira *et al.*, 2022), sendo relatado nesses trabalhos a degradação térmica da amilose e amilopectina do amido (250 até 350°C).

Figura 2.10: Curvas TGA e dTG para diferentes formulações de amido termoplástico



Legenda: AM 0B: Amido termoplástico contendo 0% de bagaço de malte; AM 9B: Amido termoplástico contendo 9% de bagaço de malte; AM 18B: Amido termoplástico contendo 18% de bagaço de malte; AM 27B: Amido termoplástico contendo 27% de bagaço de malte. Curvas na cor preta se referem às curvas de TGA; Curvas na cor azul se referem às curvas de dTG.

A degradação da hidroxila atua no vértice de parábola da curva derivada. Zhang, Wang e Cheng (2018) e Moreira *et al.* (2022) mostraram que perdas de massa acima de 200 °C e inferior a 350 °C ocorrem primariamente pela degradação de grupos da hidroxila no material, bem como a ruptura das ligações glicosídicas do amido (2018). Moreira *et al.* (2022) testaram bioplásticos de amido de milho associados com compósitos de reforço como ZnO, TiO₂ e sílica. Corrobora-se portanto com o comportamento das curvas no intervalo da curva TG entre 250 e 350 °C.

Amin, Chowdhury e Kowser (2019) registraram que o glicerol também inicia seu processo de degradação a partir de 220°C. Tal processo está contido no intervalo inicial da degradação e aparenta constar em todos os quatro termogramas compreendidos na Figura 2.14. Um segundo estágio pode ser percebido ao se analisar as curvas entre os valores de 270°C até o final, com 590°C, como todos os picos de dTG se concentrando na faixa de 300°C.

Em estudo comparativo de amido termoplástico frente a outras variedades de plásticos, verificou-se que o amido termoplástico de milho possui característica da curva DTA, onde o cume da curva derivada (que reflete a temperatura de máxima degradação) se concentra na faixa logo acima de 300°C (Oliveira *et al.*, 2019), comportamento semelhante ao amido de mandioca analisado. Os amidos empregáveis em filmes podem ser considerados de boa estabilidade térmica quando tem a sua degradação amilácea primariamente na faixa de 300°C (Costa; Júnior; Baú, 2021).

A estabilidade térmica demonstrada não foi afetada pela adição de BM. Em todas as formulações, o pico da dTG não saiu da faixa de 300°C, permanecendo o cume da curva nesse ponto e variando muito pouco. Isso indica que o BM não acarreta prejuízos ao ser adicionado como agente de reforço nas formulações experimentadas.

O mesmo perfil de curva foram relatadas por Moreno et al. (2017) ao analisarem a degradação térmica de filmes de amido de milho, onde a pronunciada perda de massa é correlacionada com a degradação do biopolímero. Análises em amido de milho e chuchu revelaram que os amidos de maneira geral apresentam esse degrau inicial da evaporação de água (Costa; Júnior; Baú, 2021), algo portanto característico da base de material empregada.

2.3.7 Propriedades Mecânicas dos Compósitos

Em relação às propriedades mecânicas dos materiais, a tensão máxima (Tabela 2.2) à ruptura dos tratamentos contendo maior concentração de BM (AMB27), mostrou-se semelhante à do bioplástico que não continha bagaço de malte (AMB0). O indício mostra que as baixas concentrações de fibras celulósicas não atuaram como agente de reforço e, portanto, prejudicaram a tensão máxima dos materiais. Com

teores de bagaço de malte mais elevados, a resistência dos compósitos foi favorecida, entretanto mostrou-se igual ao composto sem adição de BM.

De maneira geral, a tensão máxima tende a apresentar valores superiores com o uso de fibras lignocelulósicas como reforço. Ogunrinola e Akpan (2018) elaboraram amidos de mandioca prensados em termoplásticos, as amostras de bioplástico que não fizeram o uso de quaisquer materiais de reforço (no caso, PLA) apresentaram os menores valores de tensão máxima. Contudo, os autores ressaltam que tais benefícios são limitados por conta do pobre alinhamento entre as moléculas de amido com fibras, alegação a qual o autor reforça com os achados históricos de Van Soest e Essers (1997) que desenvolveram placas plásticas de amido extrusadas, o que pode explicar os valores inferiores quando o bagaço é inserido em valores intermediários (9%).

Tabela 2.2 – Tensão máxima na ruptura (MPa), alongação (%) e módulo de Young (MPa) dos bioplásticos

Amostras	Tensão máxima (MPa)	Elongação (%)	Módulo de Young (MPa)
AMB0	0,57 ^a ± 0,34	249,93 ^a ± 73,41	329,74 ^a ± 228,55
AMB9	0,08 ^b ± 0,05	335,74 ^a ± 203,25	385,66 ^a ± 417,35
AMB18	0,26 ^{ab} ± 0,14	215,88 ^a ± 118,37	528,80 ^a ± 109,12
AMB27	0,50 ^a ± 0,20	234,38 ^a ± 85,18	494,60 ^a ± 199,33

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey, $p < 0,05$). N=8. Legendas: AM0B – Amido termoplástico; AM9B – Amido termoplástico associado com 9% de bagaço de malte; AM18B – Amido termoplástico associado com 18% de bagaço de malte; AM27B – Amido termoplástico associado com 27% de bagaço de malte.

A alongação dos materiais (Tabela 2.2) não apresentou diferenças significativas, indicando que o bagaço de malte não impactou negativamente essa propriedade. Isso pode ser vantajoso, pois mantém a maleabilidade do compósito sem comprometer a alongação, garantindo que a adição do bagaço de malte ao termoplástico não resulte em prejuízos evidentes nessa característica.

Uma outra explicação do efeito é elucidada por Gabriel, Solikhan e Rahmawati (2021), que concluíram mediante a análise sistemática dos levantamentos pertinentes ao uso de agentes de reforço nas formulações bioplásticas que os efeitos de tais

adições podem ser distintos e complexos, havendo uma clara contraposição entre os atributos de alongação e tensão máxima. Estes normalmente apresentarão correlação negativa, com o bioplástico apresentando características de alongação inversamente proporcionais às de tensão máxima a depender da interação entre o agente de reforço e o tipo de amido, sendo tais efeitos cabíveis nos resultados da presente pesquisa.

Os parâmetros referentes ao módulo de Young (Tabela 2.2) permaneceram sem diferenças estatísticas significativas com a inclusão do BM. Isso mostra que a rigidez do material não sofreu influência da adição do subproduto. Os valores nessa avaliação foram inferiores a 800 MPa, limite ao qual Melo *et al.* (2018) apontaram que um bioplástico não atinge o estado vítreo. Respalado em trabalhos anteriores a não vitrealização durante o processamento de amidos de mandioca para bioplásticos (Chang; Abd Karim; Seow, 2006), sendo confirmado nas presentes avaliações a mesma condição mencionada.

Endossando discussão expressa em Neto *et al.* (2018), as alterações no módulo de Young constatadas relacionam-se com a atividade de água nos materiais em conjunto com efeitos complexos de ação dos plastificantes como o glicerol. É preciso citar a demonstração contemporânea em bioplástico filmogênico amiláceo derivado de milho, que aponta que o balanço de amido e glicerol são determinantes para os valores visualizáveis em avaliações de tensão de biomateriais, sendo os valores para filmes recomendáveis de 20 a 40% de glicerol (Nasir; Othman, 2021). A quantia de glicerol fixa elencada na pesquisa demonstrou suficiência para a formulação de bioplásticos aptos para a indústria de embalagens.

2.3.8 Compostagem

Durante os 90 dias da compostagem, observou-se mediante registro fotográfico que o material apresentou redução expressiva de volume em menos um mês após o processo ter iniciado (Figura 2.12). Ressalta-se que o material biodegradável apresentou tendência de aglomeração durante a compostagem, demandando o revolvimento para propiciar a desagregação.

Figura 2.11: Aspecto da leira de compostagem no dia 0 e no dia 28



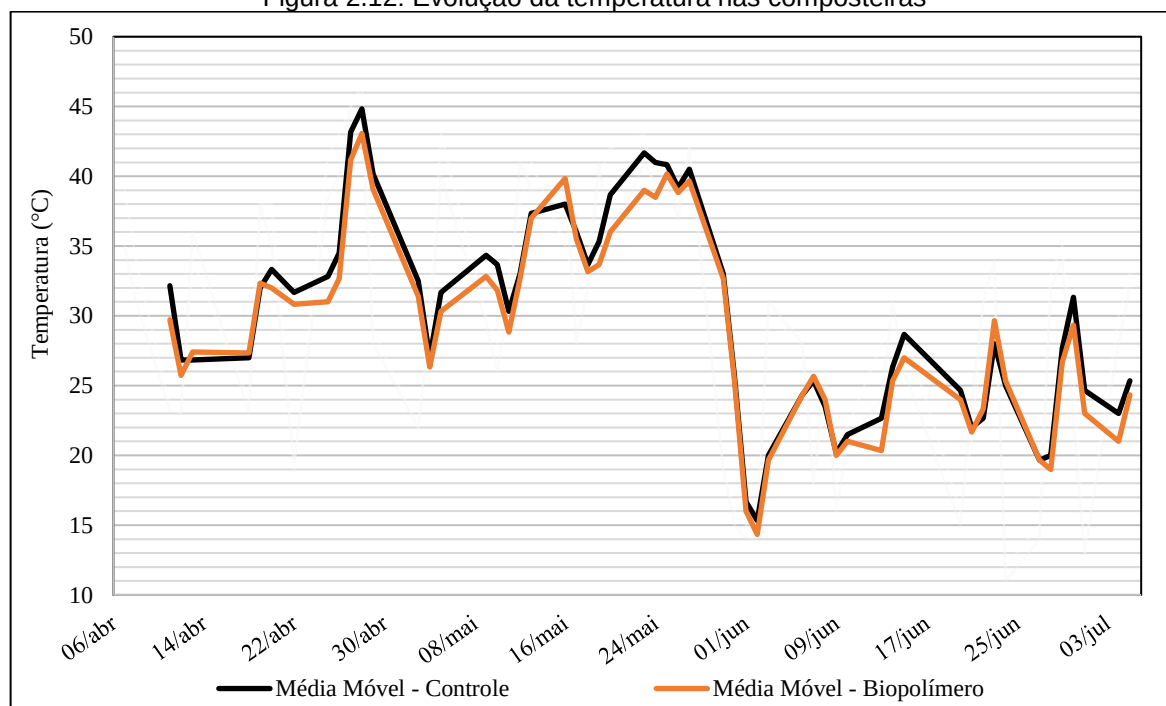
Fonte: Equipe de trabalho de biodegradabilidade da UNICENTRO (2022).

O parâmetro da temperatura é considerado de grande importância para o processo da compostagem, sendo um indicativo da atividade microbiológica necessária, uma vez que o processo de eliminação de microrganismos patológicos está relacionado às altas temperaturas durante o processo (Heck *et al.*, 2012).

A temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico, de fácil monitoramento e passível de refletir a eficiência do processo. Geralmente, o processo de compostagem atinge entre 40 e 60 °C. A fase termófila tende a apresentar picos de temperatura entre 55 e 65°C (iniciando-se em torno 45°C). Caso a acumulação de calor mediante atividade microbiana atinja valores acima de 65°C, a atividade microbiológica cai e o ciclo de compostagem torna-se longo. A aeração é um meio passível de mitigação da acumulação térmica (Fernandes; Silva, 1999).

Havendo a consideração da classificação de evolução do quadro de temperatura na compostagem proposta por Kiehl (1998), houve a observação de distinção de fenômenos por cada etapa (Figura 2.13).

Figura 2.12: Evolução da temperatura nas composteiras



Fonte: Relatório de estudo de compostagem, Unicentro, 2023. Legenda: Controle (em preto) – Composteira sem bioplástico; Biopolímero (em laranja) – Biopolímeros fracionados em 3 terços iguais, com cada parte contendo 0%, 9% e 18% de bagaço de malte do tipo *pilsen*.

Observa-se o delineamento de fases proposto por Kiehl (1998). Na fase mesofílica (entre o dia 22 e 30 de abril), houve o incremento de temperatura por conta do início da atividade microbiológica, havendo no intermédio representado pela fase termofílica (dia 30 de abril) os valores mais altos de temperatura durante o processo devido a intensa ação da atividade biológica conferida pelos microrganismos. Na fase de maturação a temperatura decresce na mesma medida que a atividade microbiológica cessa devido à menor disponibilidade do substrato.

Os pontos onde observou-se o pico de temperatura foram o vigésimo primeiro e o vigésimo segundo dias para a unidade de controle e para a unidade com as amostras de biopolímero, ambos atingindo valores acima de 45°C (46,5°C e 45°C, respectivamente). Outro fator importante pertinente à discussão da variação cinética de temperatura diz respeito ao número de dias em que a temperatura ficou acima ou igual dos 40°C e dos 30°C. O aumento de temperatura mensurada faz-se proveniente do metabolismo de decomposição microbiana podendo ser considerado um parâmetro de eficiência do processo de degradação uma vez que a temperatura apresentou controle (Heck *et al.*, 2012) e não ultrapassou os valores limítrofes de 60 °C.

Ishimura *et al.* (2006) trata a fase de compostagem e de sua relação com parâmetros de temperatura, sendo esta capaz de trazer a decomposição de material biodegradável e a estabilidade do resíduo orgânico, havendo o estágio mesófilo, termófilo e de resfriamento. Na fase inicial da atividade de degradação, a matéria compostada caminha lentamente para a faixa dos 40°C, havendo a substituição destes por microbiota de caráter mesófilo composta por fungos, bactérias e actinomicetos e a escalada de temperatura para valores superiores a 50°C.

O final da fase de maturação é compreendida de resfriamento do material de compostagem, onde as temperaturas se situam entre 32 e 60°C (Lalremruati; Devi, 2021). O comportamento inicial descrito é congênere com os registros discriminados no primeiro mês na Figura 2.16, contudo a fase termofílica não atingiu valores na magnitude, uma vez que a categoria de compostagem amostral não mobiliza calor da mesma maneira por conta da quantidade de massa diminuta quando em comparação à compostagem tradicional executada em leiras.

Já ao final da compostagem, o resfriamento é visível, sendo marcado pela redução da taxa de decomposição e oscilação de temperatura atingindo altas de 30°C entre 25 de junho e 3 de julho. Entretanto, é importante destacar que os processos termofílicos, onde ocorre o ápice de temperatura, podem variar em seus valores de acordo com a natureza do substrato (Lalremruati; Devi, 2021). Tal informação condiz com o estudo, uma vez que os valores de pico detectados destoam daqueles estabelecidos na bibliografia, sendo possível atrelar tal fato não só ao volume diminuto de substrato como à característica diversa de ambas as caixas de compostagem.

As temperaturas otimizadas para o processo de compostagem são estipuladas na bibliografia quando estas estão no patamar entre 40 °C e 65 °C (Bertoldi; Vallini; Pera, 1983), o que aponta que os picos de temperaturas supracitados que compreendem a ascensão dos microrganismos mesófilos e termófilos atingem os níveis recomendados pela bibliografia. A baixa concentração de massa compreendida no mês final do processo (1º de junho até 3 de julho) compreende adequadamente o período de resfriamento e teve queda de temperatura significativa diante da diminuta quantidade de composto resultante.

No que tange ao bioplástico de origem amilácea do milho, bioplásticos dessa natureza tendem a apresentar os maiores índices de biodegradação entre as temperaturas de 45 °C e 50°C, sendo o auge da biodegradação na temperatura de

50°C (Poluszyńska *et al.*, 2021). O fato de que o material biopolimérico apresentou decomposição acentuada pode ser um indício de compostagem bem sucedida.

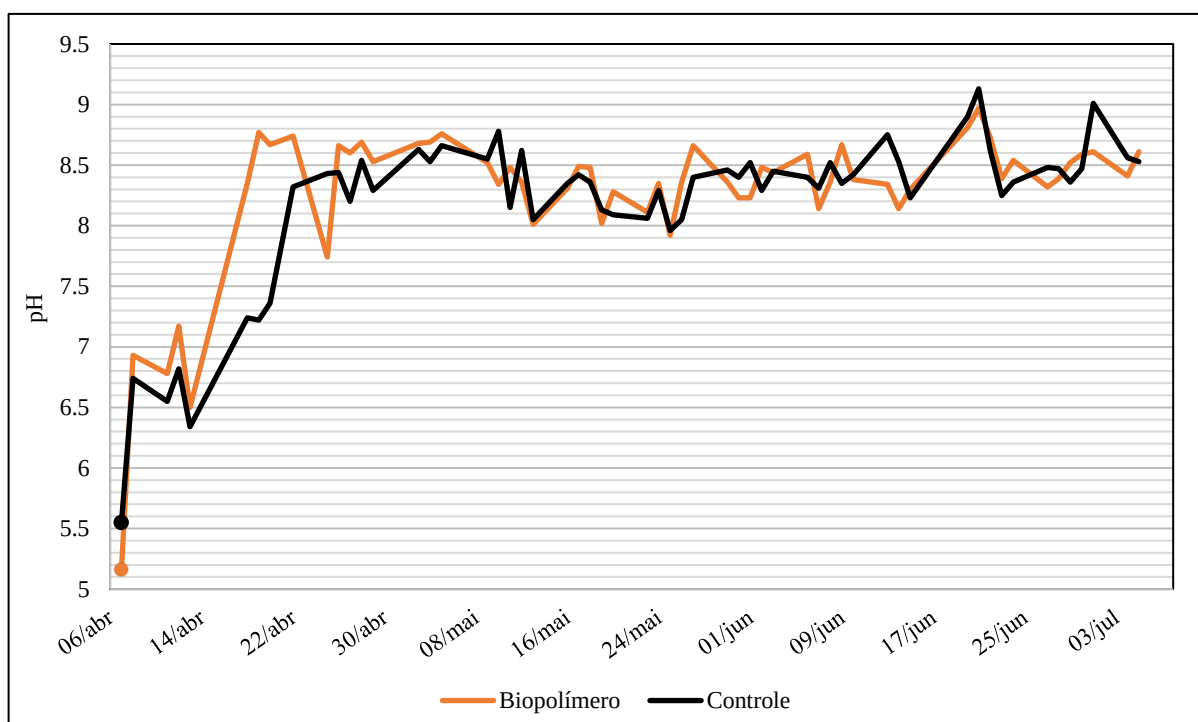
De maneira diferenciada, o bioplástico amiláceo de mandioca em associação com bagaço de malte já atingiu o seu pico de temperatura culminando o período de maior atividade da unidade de compostagem em 43°C e então manteve-se na faixa de 40°C. Demonstra-se uma vantagem e positiva característica ao ocorrer o emprego de associação com o compósito subproduto cervejeiro no que diz respeito à necessidade do acréscimo de temperatura para se atingir a maior atividade de compostagem, guardada as devidas proporções das composteiras empregadas.

Níveis de pH muito baixos ou muito altos apresentam ação inibitória contra a atividade microbiana. Em situações de início de compostagem, onde o pH encontra-se próximo da neutralidade (7,0), a fase mesófila passa a encaminhar a massa de compostagem para pH ácido de 5,5 a 6,0 devido a formação de ácidos orgânicos. Caso a queda do pH seja acentuada e atinja 5,0, a compostagem apresentará redução da atividade microbiana e não atingirá a fase termófila (Fernandes; Silva, 1999).

Contudo, havendo passagem para a fase termófila, ocorre um novo episódio de alteração durante as atividades de degradação na compostagem, onde o pH atinge valores de caráter alcalino, devido a hidrólise das proteínas e liberação de amônia. O pH mantém-se em uma faixa alcalina de 7,5 a 9,0 durante o processo da fase termófila.

De qualquer forma, o pH por si só não se configura como fator limitante para a compostagem, havendo a plena decomposição de materiais enquanto houver proporções adequadas de carbono e nitrogênio no material a ser compostado (Fernandes; Silva, 1999). No início do processo, as bacias de compostagem apresentavam pH ácido em 5,16 e 5,55 para a composteira de controle e com os biopolímeros, respectivamente (Figura 2.14).

Figura 2.13: Dinâmica do pH das composteiras



Fonte: Relatório de estudo de compostagem, Unicentro, 2023. Legenda: Controle (em preto) – Composteira sem bioplástico; Biopolímero (em laranja) – Biopolímeros fracionados em 3 terços iguais, com cada parte contendo 0%, 9% e 18% de bagaço de malte do tipo *pilsen*.

O perfil ácido se deve aos ácidos orgânicos provenientes da atividade microbiana sobre a matéria orgânica presente, uma vez que no início observa-se grande quantidade de matéria orgânica capaz de alimentar a atividade dos organismos decompositores. Do segundo dia em diante verificou-se o início do processo de alcalinização para ambas composteiras, havendo o aumento do valor de pH até a terceira semana de compostagem.

Da terceira semana em diante, ocorreu a estabilização do pH em valores médios de 8,5, para ambos os tratamentos de compostagem, com anterior escalada do valor de pH que iniciou em 5 e 5,5. Outros gráficos pertinentes a compostagens revelam caráter semelhante em ambos os tratamentos de compostagem executados no estudo. No caso da compostagem de resíduos orgânicos sólidos, contam com tendência similar, onde ocorre o aumento de pH até atingir um nível constante estabilizado na faixa de 7,3 e 7,5 (Jain *et al.*, 2017).

A alcalinidade apresentada na maturação do processo de compostagem é congruente com demais achados na bibliografia, havendo valores de pico chegando a 8,37 na compostagem de matéria orgânica (Heck *et al.*, 2012) e chegando em 8 de

pH durante a compostagem de lixo (Nakasaki *et al.*, 1993). A bibliografia trata esse cenário como o estágio de “Estabilização de pH” seguindo classificação sugerida por Poincelot (1972), onde ocorre o decréscimo do uso de carbono como substrato e o aumento da utilização de nitrogênio como substrato pela microbiota na síntese de novos compostos húmicos, demonstrando que a variação de pH é afetada pelas transformações do nitrogênio e carbono presentes no processo (Lalremruati; Devi, 2021).

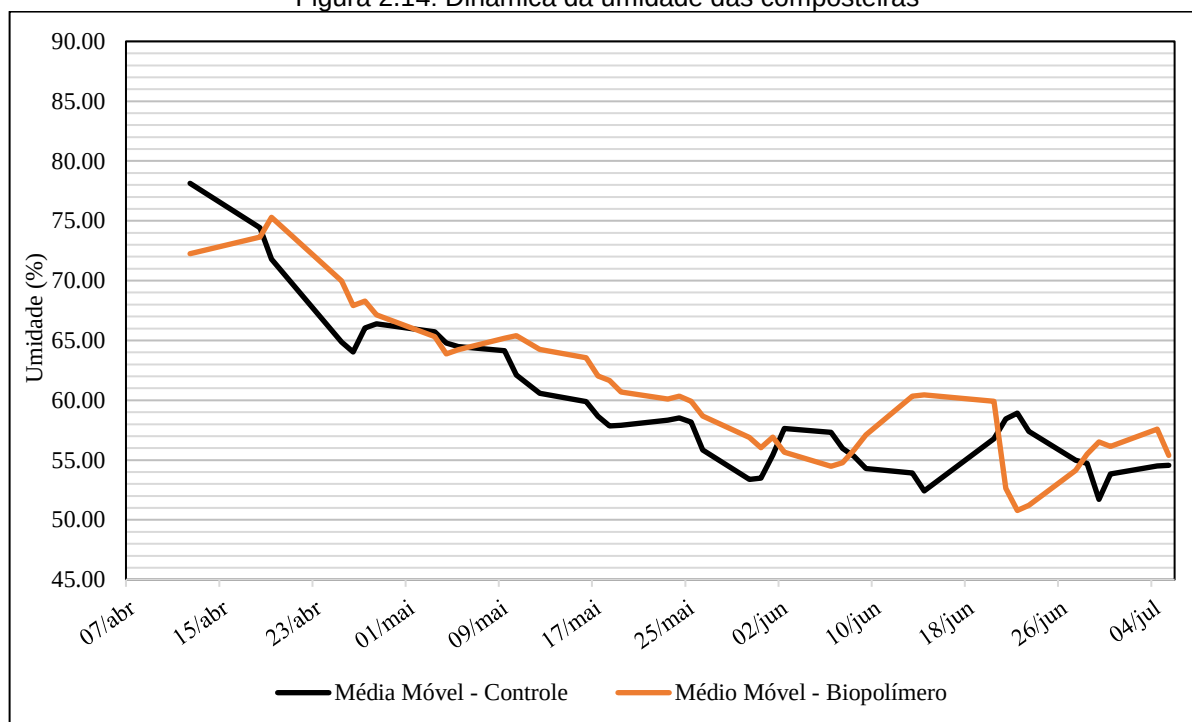
Ressalta-se que o material composto formulado com o biopolímero demonstrou um menor aumento numérico de pH, iniciando a compostagem em um pH menor e tendo picos de pH inferiores, o que comprova uma maior complexidade relacionada ao material na compostagem. Como a bibliografia aponta o acréscimo de pH como indicativo de menor atividade de bactérias proteolíticas e menor capacidade tamponante dos agentes que dão volume na matéria orgânica, constata-se que estes dois fatores são positivamente correlacionados (Rich; Bharti; Kumar, 2018).

A umidade é fundamental para os processos microbianos. Em situações análogas ao regime experimental, o composto deve suprir umidade que girem em torno de 50% a 60%. Balancear matéria seca e água, além de certificar a adequada aeração dos compostos, a fragmentação e estrutura dos resíduos interferem no processo.

Condições de excesso de umidade (mais de 65%) tendem a fazer com que a água ocupe os espaços vazios dos poros, bloqueando o oxigênio, acarretando em anaerobiose. Caso o teor fique abaixo de 40%, ocorre a inibição da atividade biológica, com interrupção dos processos de degradação (Fernandes; Silva, 1999).

Observou-se tendência consonante da umidade de compostagem, tanto para o tratamento como para o controle. Houve um pico abrupto nos dois dias iniciais onde ambos atingiram mais de 84% (85,05% e 84,11%; respectivamente). O revolvimento durante a compostagem foi constante, uma vez que havia uma grande quantidade de umidade inicial, registrando-se umidade de 69,58% para a compostagem com o biopolímero e 77,55%, para o controle. Ao final do processo, os valores médios de umidade ficaram próximos de 55%. Houve o emprego da média móvel dos últimos três dias, a fim de aprimorar a apresentação do comportamento dos dados obtidos (Figura 2.15).

Figura 2.14: Dinâmica da umidade das composteiras



Fonte: Relatório de estudo de compostagem, Unicentro, 2023.

Uma especulação plausível acerca dos aumentos de umidade ao final do experimento elucida o aumento de variação de umidade para todas as composteiras avaliadas como sendo resultante de acumulação de água de maneira irregular em determinados aglomerados de substrato. De maneira geral, a tendência da umidade é de queda, sem variações repentinas. Cabe destacar que outras experiências com compostagem se iniciam com valores de umidade inferiores e possuem material volumoso para contrabalancear materiais de compostagem com grande quantidade de água, havendo tendência de decréscimo constante e valores de perda global de umidade aproximadamente de 10% (Jain; Daga; Kalamdhad, 2019).

O equilíbrio de água durante o processo de compostagem demonstrou devida compatibilidade com os parâmetros necessários para o composto passar por todas as fases necessárias. Compostagens compostas por esterco bovino, lixo vegetal e aguapé apresentaram casos onde o processo termofílico não foi detectado devido ao excesso de água, o que prejudicou a formação de esporos fúngicos na cama de compostagem, sendo que tal tratamento apresentou menor perda de umidade, em comparação a outros tratamentos que continham serragem e restos de poda de jardim integradas na formulação da compostagem (Rich; Bharti; Kumar, 2018).

Tal relação indica a importância da discriminação do material existente na

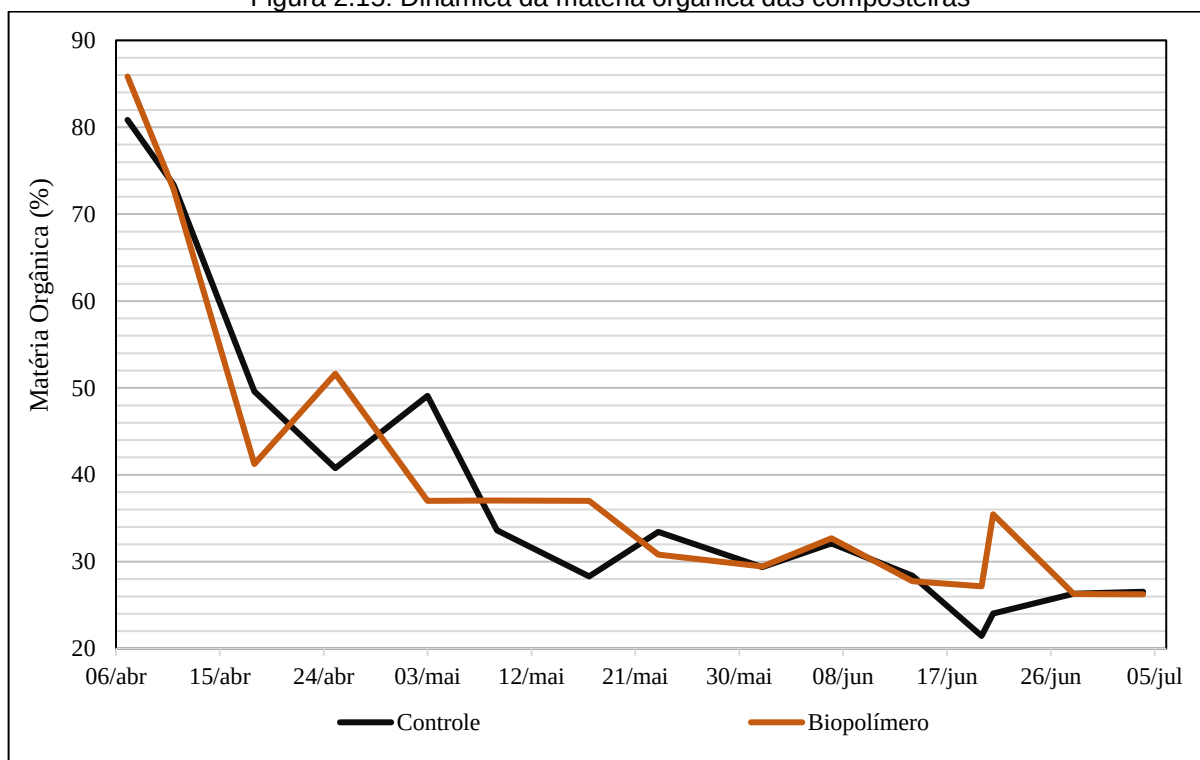
compostagem, para plena atividade, podendo ser entendido que a perda de umidade configura em um índice do perfil de compostagem (Varma; Mayur; Kalamdhad, 2014). De maneira geral, a adição de compostos secos como palha de trigo, feno e restos de madeira propiciam a absorção de umidade e favorece a diminuição de umidade presente no composto, uma vez que a mesma tende a se concentrar nos resíduos volumosos.

A bibliografia aponta experiências de compostagens onde em 20 dias de processo, a umidade atinge o valor de 57% sob tendência constante de decréscimo com leves variações (Jain; Daga; Kalamdhad, 2019). Cenário de caráter semelhante ao que foi constatado na compostagem executada durante o trabalho, onde ocorreu inserção de matéria orgânica seca em conjunto com matéria orgânica umidificada e que se encerrou com valores limiares aos verificados na bibliografia.

Teores de matéria orgânica integram o conjunto de fatores passíveis de alterar o conjunto da composteira e o processo de degradação como um todo. Matéria orgânica provenientes de esterco animal ou adubação verde (restos de plantas) alteram a disponibilidade de minerais, tornando-os pouco solúveis no solo (Fernandes; Silva, 1999) e consequente, criando condições que favorecem o crescimento de plantas.

A fim de se determinar a matéria orgânica sem que houvesse influência da umidade, esse parâmetro foi avaliado mediante secagem de amostras da composteiras mediante o uso de estufa com circulação de ar. Percebe-se o início da fase ativa da matéria orgânica a partir do dia 6 de Abril, um dia após o estabelecimento das camas de compostagem, com o decréscimo dos níveis de matéria orgânica superiores para o controle em comparação à compostagem submetida ao biopolímero (Figura 2.16).

Figura 2.15: Dinâmica da matéria orgânica das composteiras



Fonte: Relatório de estudo de compostagem, Unicentro, 2023. Legenda: Controle (em preto) – Composteira sem bioplástico; Biopolímero (em laranja) – Biopolímeros fracionados em 3 terços iguais, com cada parte contendo 0%, 9% e 18% de bagaço de malte do tipo *pilsen*.

De maneira geral, as linhas expõem um comportamento similar, mas com quedas e perfil inferior da composteira sem o biopolímero, sendo evidente tal situação no início (6 de abril), meio (12 de maio) e final (26 de junho). Tal situação demonstra a dinâmica do processo de compostagem, onde matéria orgânica é consumida pelos microrganismos. Biopolímeros apresentam velocidade reduzida em comparação à matéria orgânica no controle, devido a sua composição diferenciada, contendo materiais amiláceos em estado de vitrificação pertinente ao processo de termoprensagem. O declínio da umidade foi significativo nos 30 primeiros dias, havendo na compostagem de polímero valores de 87% até 37%, enquanto para a compostagem de controle o valor de umidade declina de 80% para 50%, aproximadamente.

Em estudo relativo a dinâmica do processo de compostagem, o carbono orgânico total e matéria orgânica apresentaram queda constante a medida que o processo avançava para quaisquer formulações, sejam essas contendo plantas aguapés, pó de serragem e restos culturais de poda paisagística, havendo reduções

de respectivas de 17%, 13% e 14,77% de carbono orgânico total após 30 dias do início do processo de compostagem, enquanto que para matéria orgânica foi de 19,16%; 22,33% e 16,76% o declínio no mesmo período. De modo geral, a perda de água varia e pode chegar em até 20% em um mês (Rich; Bharti; Kumar, 2018).

As quedas significativas nos 30 primeiros dias das compostagens estudadas demonstram possível efeito das menores dimensões das composteiras experimentais trabalhadas, onde a compostagem com biopolímero demonstrou queda de 50% no valor de umidade e a compostagem de controle atingiu queda de 30% na umidade. A degradação de bioplásticos é portanto recomendável, devendo haver o aprimoramento da compostagem de bioplásticos para escala industrial a fim de reduzir o lixo bioplástico de uma maneira sustentável (Ahsan *et al.*, 2023) na medida que bioplásticos compostáveis sejam explorados comercialmente.

O emprego de bagaço de malte associado a base amilácea dos bioplásticos pode propiciar benefícios e diferenciação de características aos biopolímeros. Contudo, foi nos biopolímeros contendo 5% e 10% de bagaço de malte em que se detectou maior influência do material em contato com o meio de compostagem. Especula-se que a maior rugosidade propicia uma maior área de contato, favorecendo reações de desintegração da camada externa do material. Já para os materiais sem o uso do bagaço, o material apresentou maior maleabilidade e menor taxa de desintegração externa.

Após três semanas de acompanhamento da biodegradabilidade, ambas as compostagens que continham tratamento e controle não apresentaram diferenças devido à desintegração do material. Da quarta semana em diante, a visualização do material já não foi mais possível. O desenvolvimento da biodegradabilidade foi de aspecto condizente com outros bioplásticos e até superior, uma vez que foi total e sem o uso de aditivos ou catalisadores. De maneira geral, materiais bioplásticos amiláceos são categorizados como de rápida degradação e possuem vocação para ciclo de fim de vida em composteiras de caráter doméstico ou industrial (Song *et al.*, 2009).

É importante destacar a facilidade de degradação por compostagem observada quando submetido a comparação na bibliografia científica, uma vez que não necessitou de insumos para o sucesso do processo. Algumas composições de bioplásticos amiláceos demandam maior complexidade e podem levar maior tempo para a sua degradação. Isso foi verificado em experimentos que utilizaram cepas

fúngicas melhoradas com tratamento de laser para ativação da degradação de biopolímeros com 90% de amido (Geweely; Ouf, 2011).

Souza et al. avaliou que após enterrar bioplástico em bolsas de nylon por 120 dias, a porcentagem de degradação foi de 37%. Ainda que a natureza desse bioplástico não seja esclarecida, destaca-se que tal bioplástico contribui para o aumento do número de bactérias no solo (Souza *et al.*, 2016), cenário o qual pode com bioplástico amiláceo associado com bagaço de malte.

A discussão empregada, se aprofundando no aspecto da dinâmica do processo de compostagem e também da exploração da degradação de bioplásticos pode ser frutífera, uma vez que ambas apresentam sinergia, sendo metodologia ambientalmente responsável e sustentável. A decomposição de materiais de origem lignocelulósica (categoria onde o compósito empregado no biopolímero se inclui) por via da compostagem pode ser do ponto vista prático e do custo benéfico, uma vez que a compostagem ajuda na saúde pedológica do ambiente e pode estar inserida em um ciclo sustentável.

Em ressalva, a bibliografia conclui que os casos devem ser estudados individualmente (Hubbe; Nazhad; Sánchez, 2010), sendo o presente trabalho pivotal, uma vez que estabelece conclusões únicas e positivas pertinentes ao emprego do biopolímero no ciclo da compostagem. Ainda que a ênfase nos sucessos de materiais bioplásticos como sendo seguros e de simples degradação para o meio ambiente, é importante frisar que tais produtos nem sempre reagem da mesma maneira quando expostos em condições ambientais.

Por exemplo, tecidos esponjosos baseados em bioplásticos “marqueteados” como “100% biodegradáveis” e disponíveis no mercado europeu demonstrou-se a incapacidade de plena decomposição, ainda que fora constatada degradação parcial e alteração de cor. Foi estabelecido que a degradação de bioplástico é dependente do ambiente que o mesmo sofre o processo (Vaverková; Adamcová, 2015).

Outro material, este presente em larga utilização no Brasil, são as sacolas oxibiodegradáveis. Estas foram fortemente estimuladas e adotadas no território nacional a fim de mitigar os efeitos advindos das sacolas plásticas baseadas em petroplástico. Em estudos que submeteram estas em ambiente de decomposição simulando intempéries como chuva, umidade, radiação solar e oscilação de temperatura, demonstrou que mesmo após 12 meses, não apresentaram

decomposição total (Follmann *et al.*, 2016). Tais reverses demonstram a relevância de testes pertinentes a esse aspecto e indicam superioridade do material desenvolvido no trabalho no que tange a biodegradabilidade.

Bioplásticos derivados da mandioca podem apresentar processo de decomposição sob diferentes velocidades. Em estudo que analisou bioplástico associado de mandioca com taioba, o processo de compostagem nas formulações contendo 95% de farinha de taióba e 5% de amido de mandioca; 10% de farinha taióba com 90% de amido de mandioca e 50:50 destes dois ingredientes as curvas de perda de peso atingiram em 4 semanas perda de peso de 40%, 39% e 39%, aproximadamente (Christwardana; Ismojo; Marsudi, 2022).

Estudo referente à avaliação de bioplásticos de amido de mandioca combinados com caule de espinafre demonstraram que associações de bioplástico combinado com outros ingredientes não amiláceas puras tendem a ter uma degradação retardada. Comprovou-se ser necessário pelo menos 2 gramas de caule de espinafre como compósito adicionado em formulação de bioplástico (17% de peso seco de amido de mandioca) para conferir características hidrofóbicas passíveis de aumentar o tempo para degradação do bioplástico (Wong *et al.*, 2023).

Mediante resultados discutidos em pesquisa que avaliou a dinâmica do processo de compostagem e degradação de bioplásticos amiláceos, concluiu-se que o processo de fragmentação do bioplástico, ocorre durante a fase termofílica, enquanto a biodegradação surge na fase de curagem da compostagem. Estabeleceu-se que a devida fragmentação do material bioplástico pode demandar 100 dias (Lavagnolo *et al.*, 2020) para que 10% ou menos dos resíduos bioplásticos apresentem diâmetros superiores a 2 mm conforme as diretrizes regulatórias europeias (Es, 2023).

Ainda que a adição de compósitos possa alterar resultados, os bioplásticos derivados de fontes amiláceas apresentam excelentes taxas de biodegradação e são apropriados para o descarte por via de aplicação em compostagem (Bartolucci *et al.*, 2023). A associação de compósitos em base amiláceas deve ser avaliada conforme pretendeu-se na tese concebida, onde pode-se constatar o sucesso da aplicação no que tange a não interferência na plenitude dos processos de degradação e compostagem.

Inclusive, a aplicação em compostagem ao final do ciclo de vida útil do

bioplástico desenvolvido pode conferir vantagens ao processo por conter como compósito o material lignocelulósico do bagaço de malte. Materiais lignocelulósicos contribuem para a permeabilidade do ar, ajudam na construção de volume e na retenção de água (Hubbe; Nazhad; Sánchez, 2010).

O prognóstico de uso de compostagem na degradação de bioplásticos é recomendável do ponto de vista ambiental e agrônômico. Testes de compostagem que incluíam a associação de sacolas de material bioplástico em conjunto com restos de alimentos podem servir como insumo corretivo para solos, regularizando o valor de macronutrientes nos solos. Além disso, o tempo de fermentação foi maior nos 45 dias empreendidos na avaliação (Kwanyun *et al.*, 2023).

2.4 CONCLUSÃO

A prensagem e moldagem dos bioplásticos ocorreu de maneira bem sucedida, obtendo um produto rígido, mas resistente a quedas e quebras, mostrando viabilidade do uso prático do material elaborado. O acréscimo de bagaço correlacionou-se positivamente com o aumento de espessura dos bioplásticos. Essa observação pode estar correlacionada aos resultados de solubilidade destas amostras.

A espectroscopia por infravermelho não detectou a formação de novos compostos orgânicos nos bioplásticos formatados. A microscopia eletrônica demonstra que o uso de bagaço de malte conferiu heterogeneidade ao relevo microscópico dos bioplásticos formatados.

Não se verificou influência perceptível do bagaço de malte capaz de desestabilizar a integridade dos compósitos, havendo dois estágios distintos de degradação revelados por técnicas de termogravimetria. Todos os bioplásticos formulados apresentaram elongações similares. A capacidade de elongação averiguada é interessante para o trabalho na indústria de embalagens.

A adição do biopolímero não prejudicou os parâmetros de temperatura, pH, umidade e a redução contínua da matéria orgânica durante a compostagem, indicando que o biopolímero foi compatível com o processo natural de decomposição.

No que tange a biodegradação por compostagem, em 28 dias verificou-se a completa degradação do material bioplástico fragmentado e misturado, não havendo

diferenciação entre os tipos de biopolímeros. Composições intermediárias de bagaço de malte demonstram possibilidade de uso que necessitam de testes práticos a fim de se verificar o comportamento destes na armazenagem de hortifrúti na pós-colheita.

CAPÍTULO 3 - USO DO OLEO ESSENCIAL DE MENTA NO ARMAZENAMENTO DE MIRTILO

Resumo

O uso de ingredientes ativos em embalagens de diferentes tipos pode proporcionar benefícios a frutas armazenadas na pós-colheita. É de grande importância para a pesquisa o desenvolvimento de tecnologias de armazenamento que sejam sustentáveis e seguras ao consumidor. Foram armazenados mirtilos sob quatro tratamentos: Embalagem de papel, embalagem plástica, embalagem de papel com óleo essencial de menta (OEM), embalagem plástica com óleo essencial de menta. O armazenamento refrigerado ocorreu por 28 dias sob temperatura de 1°C, havendo o monitoramento de suas características físico-químicas. Os valores de cor, acidez total titulável, firmeza e sólidos solúveis totais não demonstraram serem afetados pelos tratamentos, sob constante tendência de perda de massa dos frutos em ritmos similares. Os resultados da análise de HPLC verificaram que os tipos de açúcares contidos nas frutas foram similares em quaisquer tratamentos, porém foram levantadas alterações nos ácidos orgânicos, onde aos 28 dias houve decréscimo de ácido málico e succínico no tratamento com OEM em plástico e no tratamento de armazenamento em bandeja plástica, respectivamente. A análise de compostos voláteis por GCMS evidenciou a dominância dos aromas pertinentes ao OEM, provando a atividade residual destes mesmo após estocagem prolongada. A aplicação de OEM deve ser estudada em maior profundidade.

Palavras-chave: Ingrediente ativo; *Vaccinium myrtillus* L.; pós-colheita.

Abstract

The use of active ingredients in different types of packaging can provide benefits to fruits stored post-harvest. It is of great importance for research to develop storage technologies that are sustainable and safe for the consumer. Blueberries were stored under four treatments: paper packaging, plastic packaging, paper packaging with peppermint essential oil (OEM), and plastic packaging with peppermint essential oil. Refrigerated storage occurred for 28 days at a temperature of 1°C, with their physical and chemical characteristics being monitored. The values of color, total titratable acidity, firmness, and total soluble solids were not affected by the treatments, with a constant tendency for fruit mass loss at similar rates. The results of the HPLC analysis verified that the types of sugars contained in the fruits were similar in all treatments, but changes were noted in organic acids, where at 28 days there was a decrease in malic and succinyl acid in the treatment with OEM in plastic and in the treatment stored in plastic trays, respectively. The analysis of volatile compounds by GCMS showed the dominance of aromas relevant to OEM, proving their residual activity even after prolonged storage. The application of OEM should be studied in greater depth.

Keywords: Active ingredient; *Vaccinium myrtillus* L.; postharvest.

3.1 INTRODUÇÃO

O mirtilo é uma cultura agrícola ascendente no país (Gonçalves, 2022). O óleo essencial de menta é derivado da *Mentha piperita* L., e tem na sua composição terpenos como o mentol, que apresenta atividade antimicrobiana e larvívica (Santos, 2011). O óleo essencial de menta é reportado ter ação inibitória contra ação microbiana quando aplicado para a preservação de fungos relacionados a deterioração alimentos (Abbaszadeh *et al.*, 2014).

O custo benefício do emprego de óleos essenciais para o controle de deterioração e manutenção da qualidade de frutas durante a armazenagem deve aplicada em condições condizentes com a configuração de comercialização de frutas (Sivakumar; Bautista-Baños, 2014). Sendo, portanto, importante o estabelecimento de novas respostas sobre o uso de óleos essenciais na pós-colheita e seus efeitos nas diversas características físico-químicas no decorrer da vida útil do produto. As considerações do trabalho de Shabbir *et al.* (2020) mencionam que o óleo essencial de menta possui propriedades antimicrobianas que podem até mesmo beneficiar a saúde humana em determinados casos, sendo aplicado o seu uso sob diferentes formas.

Nesse estudo, foram analisados mirtilos minimamente processados armazenados em embalagens de papel e plástico, com óleo essencial de menta como ingrediente ativo. Tais respostas devem ser discutidas a fim de se investigar os diversos papéis que óleos essenciais podem assumir na pós-colheita de alimentos e quais as efetividades perceptíveis. Optou-se também por conduzir o trabalho no espaço de 28 dias, havendo a aclimação da fruta sob temperatura ambiente por dois dias a fim de recriar condições comuns de comercialização antes da análise de cada ponto.

O trabalho adotou a metodologia adaptada que pudesse ser efetiva em pequenos frutos como o mirtilo. Essa categoria de fruto é sensível a procedimentos como a lavagem, podendo haver prejuízo em sua qualidade sensorial. Em trabalho conduzido por Serrano *et al.* (2005), gases foram embebidas com 1 mL de óleos essenciais diversos e acondicionados em bandejas de cerejas, havendo o cuidado para que o ingrediente ativo na gaze não encostasse nos frutos.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Materiais

O mirtilo foi fornecido pelo *Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee* (KOB). Foi receitado imediatamente após a colheita, seguindo as recomendações do manual extensionista da *University of Georgia*, onde os mirtilos são colhidos ao se verificar a cor roxa escura e intensa no fruto, nunca colhendo a fruta quando estiver avermelhada pois nesse caso a fruta não obterá boas características sensoriais (Deltsidis; Ames; Espinoza, 2023).

A colheita fora efetuada por produtor da região rural da cidade de Ravensburg (Baden-Württemberg, Alemanha), sendo o mirtilo da variedade *Liberty*, sendo colhidos cerca de 5 kg de mirtilo. Tal como é comum aos mirtilos, não ocorre higienização da fruta e logo após a colheita foram colocados nas bandejas prontas para comercialização. O experimento foi realizado com embalagens de dois tipos distintos: papel (categoria 560, Berigard, Alemanha) e plástico de politereftalato de etileno (classificação NOG56, Infia, Alemanha).

A aplicação do óleo essencial de menta (OEM) (*Japanisches Heilpflanzenöl*, Mivolis, Alemanha) foi realizada em um disco de algodão com 6 cm de diâmetro e 0,3 cm de espessura. A aplicação de 1 mL do OEM no disco, que continha como ingrediente ativo principal o mentol puro (DM, 2024), foi realizada com o auxílio de uma micropipeta volumétrica. Após a impregnação, o disco de algodão foi cuidadosamente centralizado sobre um suporte plástico, conforme ilustrado na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Aplicação de 1 mL de óleo essencial de menta em embalagem utilizada no tratamento



Fonte: O autor.

3.2.2 Métodos

3.2.2.1 Montagem das embalagens de mirtilo

Foram recortadas embalagens sobressalentes de plástico quadrados de lados medindo 6,5 cm. Tal suporte serve como sustentação para o algodão e separa o óleo essencial do contato direto com o fruto (Figura 3.2). Logo após a implementação do conjunto com ingrediente ativo nos respectivos tratamentos, fez-se o fechamento das embalagens envoltas em filme de policloreto de vinila de maneira rápida, a fim de evitar a volatilização do óleo essencial para o ambiente (Quadro 3.1).

Figura 3.2 – Embalagens de mirtilo com aplicação de óleo essencial de menta fechadas



Fonte: O autor.

Quadro 3.1 – Dimensões das embalagens de papel e de plástico

Dimensões (cm)	Embalagem de papel	Embalagem plástica
Altura	5	5
Largura	7,5	7
Comprimento	12	12

As bandejas utilizadas para embalar os mirtilos foram submetidas a um processo de aleatorização imediatamente após o recebimento. Cada embalagem foi preenchida com aproximadamente 100 gramas de mirtilo. A organização dos tratamentos foi cuidadosamente planejada, sendo dividida em quatro grupos distintos, conforme descrito no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Tratamentos aplicados no mirtilo

Tratamentos	Sigla
Embalagem de papel	T1M
Embalagem de papel associada com OEM	T2M
Embalagem de plástico	T3M
Embalagem de plástico associada com OEM	T4M

3.2.2.2 Acondicionamento das amostras

Após a aplicação dos tratamentos nos mirtilos, as amostras foram armazenadas em câmaras refrigeradas a 1°C por um período total de 28 dias. Para simular as condições de comercialização em gôndolas de mercado não refrigeradas, os mirtilos foram retirados das câmaras refrigeradas e foram mantidos a 20°C por 2 dias antes das análises. As avaliações foram realizadas em dois pontos ao longo do estudo: (i) após 13 dias a 1°C seguidos de 2 dias a 20°C; e (ii) após 26 dias a 1°C com mais 2 dias a 20°C.

3.2.3 Parâmetros Físico-químicos dos Frutos

3.2.3.1 Determinação da cor

Os parâmetros pertinentes a cor dos frutos avaliados foram: L (luminosidade que vai do branco (0) até o preto (100)); a* (matiz de cromaticidade que vai do verde ao vermelho) e b* (matiz de cromaticidade do azul até o amarelo) (Ferreira; Spricigo, 2017) além dos parâmetros H (ângulo *hue*, que define por meio de ângulo a localização da cor detectável em paleta de cores) e *chroma* (o valor de croma define a cromaticidade, ou seja, a “vivacidade da cor perceptível”) (Pantone, 2023).

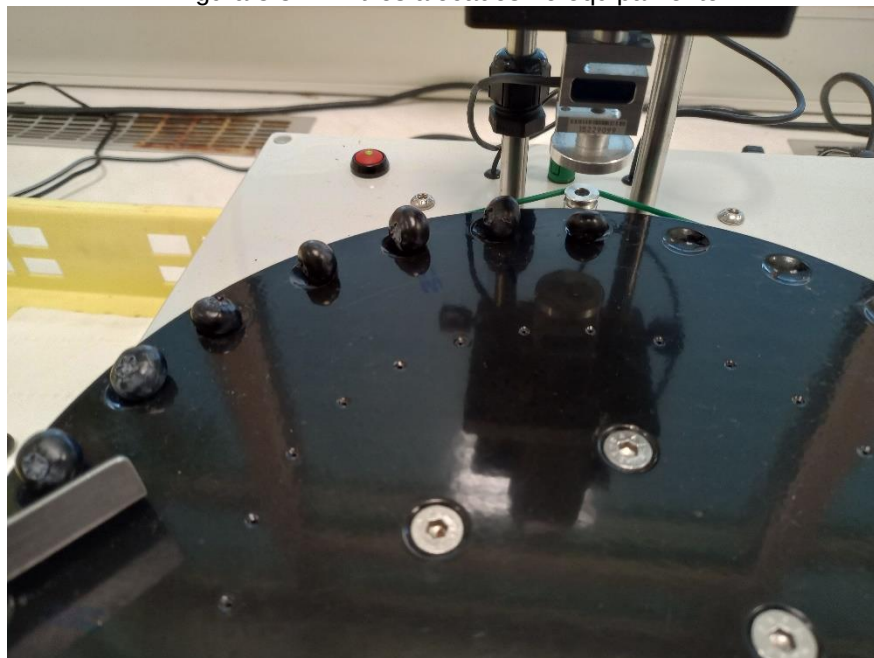
As cores de casca do fruto foram verificadas por aparelho automatizado de colorimetria Minolta CR-300 (Konica Minolta, Tóquio, Japão), conforme metodologia adaptada do fruto da pêra por Balkees et al. (2022). O fruto do mirtilo foi polido antes da avaliação a fim da fruta não apresentar o recobrimento embranquecido natural da superfície mirtilo, sendo 20 frutos mensurados por tratamento.

3.2.3.2 Firmeza

A firmeza em mirtilo foi estipulada pela unidade de g.mm⁻². A firmeza foi determinada com o uso de texturômetro (*Fruit Texture Analyser*, Güss, Alemanha) e dispositivo padronizável e auto programável não destrutivo (*FirmTech2*, BioWorks, EUA) onde 20 frutos selecionados de cada tratamento foram distribuídos em uma mesa em forma de disco giratória, com cada mirtilo sendo analisado de maneira

mecanizada (Figura 3.3). A metodologia foi baseada na sistemática adotada por Harb et al. (2014).

Figura 3.3 – Mirtilos alocados no equipamento



Fonte: O autor.

3.2.3.3 Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada por meio de titulação automatizada em equipamento de titulação Robotic Analyzer Light (Metrohm, Herisau, Suíça). Foi determinada em metodologia de titulação ácido-base mediante uso de solução alcalina NaOH 0,1 M, com os resultados expressos pela massa equivalente de ácido cítrico (percentagem de ácido cítrico por 100 g de material fresco). Para a execução da análise foram pesados aproximadamente 5 g de fruta por tratamento em balança gravimétrica, com essa massa posteriormente macerada e homogeneizada.

Essa massa foi então adicionada em 50 mL de água destilada e 5 gotas de fenoftaleína, sendo titulada com NaOH 0,1 M, até que ocorra o ponto de viragem (alteração da cor na amostra). Após isso, o valor utilizado para se chegar ao ponto de viragem foi registrado e utilizado no cálculo da acidez (Ávila *et al.*, 2020). O valor numérico do fator de correção para ácido cítrico foi de 0,064 (Sadler; Murphy, 2010).

3.2.3.4 Sólidos solúveis totais

A determinação de sólidos solúveis totais seguiu a metodologia adaptada de mirtilos por Harb et al. (2014). Fazendo uso de técnica de gotejamento do suco de fruta puro em leitor de aparelho refratômetro digital PR-1 (Atago Co. Ltd., Tóquio, Japão), havendo uso de triplicata.

3.2.3.5 Perda de massa dos frutos

Para cada tratamento distinto, uma embalagem lacrada foi segregada e separada das demais, tendo o seu peso medido em balança gravimétrica periodicamente, em consonância com o método aplicado por Camargo (2020). O resultado foi expresso em gráfico cinético, em porcentagem (%) de massa perdida o avanço da armazenagem (KIM et al., 2015).

3.2.3.6 Caracterização e quantificação de açúcares

Baseando-se em metodologia de Wang et al. (2010) e Thewes, Brackmann e Neuwald (2019) nos dias determinados para a análise, o suco de cada mirtilo foi extraído de quantidades de 100 gramas de fruta (Gastroback Profi Juicer 40129, Dubai, Emirados Árabes Unidos). Cerca de 10 mL de amostras foram coletados e imediatamente inseridos em frascos e armazenados sob a temperatura de -32°C até o dia da análise.

A análise de açúcares foi executada por meio da técnica *high performance liquid chromatography* (HPLC). Os açúcares detectáveis e coletados foram glicose, frutose, sacarose por meio de análise conduzida isocraticamente por meio de coluna HC-75 Ca²⁺ na forma de cátion, nas proporções de 305 mm x 7,8 mm em fluxo de velocidade de 0,8 mL.min⁻¹ com temperatura de coluna de 80°C, havendo uso na fase móvel de água deionizada sob índice de refletância detector, com a análise ocorrendo em 15 min.

3.2.3.7 Caracterização e quantificação de ácidos orgânicos

O procedimento foi adaptado de Wang et al. (2010) e Thewes, Brackmann e Neuwald (2019). Nos dias determinados para a análise, o suco de cada mirtilo foi extraído (Gastroback Profi Juicer 40129, Dubai, Emirados Árabes Unidos). Cerca de 10 mL de amostras foram coletados em frascos e armazenado sob a temperatura de -32°C até o dia da análise.

A análise de ácidos orgânicos foi executada por meio da técnica de cromatografia líquida de alta performance (HPLC). Foram identificados e quantificados os ácidos L-málico, cítrico e succínico, empregando uma coluna Rezex RDA-ácido orgânico H⁺ (Phenomenex, Torrance, EUA), com dimensões de 7,8 mm x 300 mm. A separação foi conduzida a um fluxo de 0,5 mL.min⁻¹, com a temperatura da coluna mantida em 55°C. A fase móvel consistiu em H₂SO₄ 50 mmol.L⁻¹, e a detecção foi realizada por UV a 210 nm (Bischoff, Leonberg, Alemanha).

Os limites de detecção foram identificados por meio da comparação dos tempos de retenção dos padrões químicos específicos preparados sob diferentes concentrações, em consonância com procedimento adotado no trabalho de Wang et al. (2010).

3.2.3.8 Análise de compostos voláteis

A avaliação do perfil aromático do mirtilo foi executada nos dias 15 e 28 de armazenamento, a fim de considerar a evolução destes. Para a avaliação de aromas foram selecionados compostos aromáticos de diferentes estruturas que se verificassem presentes em quantidades relevantes para os frutos de mirtilo armazenados em bandejas de papel (T1M) e de plástico (T3M). Foi levada em consideração a natureza aromática do óleo essencial de menta e sua possível influência na constituição dos mirtilos tratados em T2M e T4M.

Adaptando protocolo de análise para pêras de Hendges et al. (2018) e maçãs de Khera et al. (2024), a análise de compostos aromáticos ocorreu após a coleta de suco fresco dos mirtilos sob diferentes tratamentos, em triplicata, havendo a homogeneização em 13.500 rpm pelo homogeneizador Ultraturrax (IKA, Staufen, Alemanha) e armazenado sob refrigeração de -30°C. Os aromas voláteis do sumo de

mirtilo foram determinados por meio de microextração de fase sólida com fibra revestida de divinilbenzeno, carboxeno e polidimetilsiloxane de sorbente nas medidas de 1 cm por 50/30 μm de espessura (DVB/Car/PDMS, 24 ga, Sigma-Aldrich, Supelco, EUA). Utilizou-se 10 ml de suco em frascos de 20 ml com 50 μL de nonanoato de etila (solução padrão 0,175 mg/L em etanol), seguido da selagem com PTFE/silicone. Os frascos amostrais em temperatura de ambiente (20°C) por 30 min para estabilização.

A fibra foi então removida da amostra e os analitos absorvidos termalmente no injetor da cromatografia gasosa. As análises de cromatografia gasosa e espectrometria de massa (GC/MS) foram conduzidas em um cromatógrafo gasoso acoplado a um espectrômetro de massa GC–MS QP2010 Plus (Shimadzu, Quioto, Japão). Os compostos voláteis foram desorbidos em um porto injetor em 250°C por dois min, com o cromatógrafo sendo utilizado com coluna capilar ZB-WAX, nas medidas de 60 m x 0,32 mm com filme na espessura de 1 μm . O hélio foi o carregador em fluxo de 1.2 mL.min⁻¹ na temperatura de 40°C. A temperatura do forno foi programada com uma temperatura inicial de cinco minutos, e então 4°C/minutos para 230°C.

O detector operou na amplitude de m/z entre 30 e 250, com temperaturas da fonte de ión e quadrupolo mantidas em 250 e 250°C, respectivamente. A identificação dos componentes foi efetuada pela comparação de suas massas espectrais com aquelas disponíveis em padrões comerciais, sendo todos os compostos confirmados mediante a verificação na base de dados *NIST 2.0* (National Institute of Standards and Technology, 2024). As concentrações dos compostos foram calculadas a partir do pico das áreas dos íons selecionados pela padronização interna da concentração dos compostos voláteis, metodologia aplicada anteriormente em frutas da família das rosáceas (Ban *et al.*, 2010; Both *et al.*, 2014; Qin *et al.*, 2012).

3.2.4 Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguido do teste de hipóteses do tipo Tukey (5% de significância) para avaliar a diferença estatística entre as comparações múltiplas de médias obtidas nos tratamentos utilizados (Banzatto; Kronka, 2006). Computação de resultados foram realizados no *software Excel 2013* (Microsoft, USA), sendo calculado e plotado mediante o uso do *software R*.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Determinação da Cor

Os parâmetros L, a*, b* e Chroma (Tabelas 3.1) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos testados. Tal resultados demonstra que atributos como luminosidade, matizes e cromaticidade das frutas não sofrem alterações quando expostas aos diferentes tratamentos envolvendo as embalagens e o OEM como ingrediente ativo. Entende-se aqui que a confirmação de informações já averiguadas pela academia: O efeito da refrigeração aparenta ter influência na manutenção das cores de mirtilo, havendo a verificação de tal efeito durante a armazenagem de mirtilo processado para suco onde avaliou-se o mirtilo refrigerado a 4°C por 7 semanas (Song *et al.*, 2018). Tratando-se de pequenos frutos, experimentos com cereja doce armazenada em 0 e 5°C por 26 dias indicam que a refrigeração aparenta ser um fator determinante na preservação da cor (Puniran *et al.*, 2012).

Tabela 3.1 – Parâmetros de cor do mirtilo

Amostras	L		a*		b*		Chroma		H	
	15°	28°	15°	28°	15°	28°	15°	28°	15°	28°
	dia	dia	dia	dia	dia	dia	dia	dia	dia	dia
T1M	27,64 ^a ± 0,08	26,99 ^a ± 0,1	0,93 ^a ± 0,02	1,06 ^a ± 0,00	-0,94 ^a ± 0,10	-0,65 ^a ± 0,09	1,33 ^a ± 0,09	1,26 ^a ± 0,02	1,33 ^a ± 0,09	1,26 ^a ± 0,02
T2M	27,87 ^a ± 0,00	26,89 ^a ± 0,13	0,89 ^a ± 0,01	1,04 ^a ± 0,00	-1,03 ^a ± 0,00	-0,71 ^a ± 0,00	1,36 ^a ± 0,00	1,26 ^a ± 0,00	1,36 ^a ± 0,00	1,26 ^a ± 0,00
T3M	28,47 ^a ± 0,07	26,93 ^a ± 0,00	0,84 ^a ± 0,00	1,09 ^a ± 0,00	-1,62 ^a ± 0,14	-0,72 ^a ± 0,00	1,83 ^a ± 0,12	1,31 ^a ± 0,00	1,83 ^a ± 0,12	1,31 ^a ± 0,00
T4M	27,61 ^a ± 1,79	26,98 ^a ± 0,16	0,84 ^a ± 0,00	1,06 ^a ± 0,00	-1,35 ^a ± 0,10	-0,76 ^a ± 0,02	1,60 ^a ± 0,07	1,31 ^a ± 0,00	1,60 ^a ± 0,07	1,31 ^a ± 0,00

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre tratamentos (teste de Tukey, p<0.05), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1M: Embalagem de papel; T2M: Embalagem de papel com óleo essencial de menta; T3M: Embalagem plástica; T4M: Embalagem plástica com óleo essencial de menta.

Destaca-se o fato de que o fator H não apresentou diferenças estatísticas significativas entre as amostras (Tabela 3.5). O ângulo hue verificado está contemplado na região onde ocorre a dominância da cor azul escura, comum para

todos os mirtilos armazenados, uma vez que estes apresentaram médias superiores estatisticamente ao final, podendo indicar uma tendência de manutenção da hue da cor azulada escura característica do mirtilo. Em estudo referente ao armazenamento de suco de mirtilo, relaciona-se a antocianina com o aspecto brilhante do ângulo hue. Outro fator observado corroborado pela bibliografia é que o suco de mirtilo tem redução no aspecto de retenção de cor em cerca de 30 dias de armazenamento ao ser armazenado em 4°C, reduzindo em 5% (Song *et al.*, 2018).

3.3.2 Firmeza

Dados da análise de firmeza dos frutos não demonstraram quaisquer diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 3.2). Experimentos anteriores que trataram do armazenamento de amora e mirtilo descrevem que os parâmetros de firmeza não estão correlacionados com diferentes materiais de embalagem (Joo *et al.*, 2011), sendo essa posição reiterada no presente trabalho.

Tabela 3.2 –Parâmetro firmeza do mirtilo

Amostras	Firmeza (g.mm ⁻³)	
	15° dia	28° dia
T1M	144,62 ^a ± 132,00	122,67 ^a ± 348,33
T2M	132,27 ^a ± 183,86	133,43 ^a ± 33,68
T3M	155,30 ^b ± 125,33	125,45 ^a ± 11,36
T4M	140,57 ^a ± 4,21	114,18 ^a ± 72,72

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre tratamentos (teste de Tukey. $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1M: Embalagem de papel; T2M: Embalagem de papel com óleo essencial de menta; T3M: Embalagem plástica; T4M: Embalagem plástica com óleo essencial de menta.

3.3.3 Acidez total titulável

Em relação aos valores de média obtidos para acidez total titulável, foram constatadas diferenças significativas, onde o tratamento T4M apresentou acidez total titulável inferior aos demais tratamentos ao 15° dia (Tabela 3.3). Tal inferioridade no nível de acidez pode ser correlacionável com um aumento na taxa respiratória do pequeno fruto, que pode ter passado a consumir os ácidos próprios do mirtilo como

substrato, algo já relatado na bibliografia para pequenos frutos como a amora armazenada coberta armazenada com alginato associado ao composto volátil do limoneno (Joshi et al., 2021). A diminuição de acidez pode deixar pequenos frutos com melhores aspectos sensoriais devido a uma menor relação nos valores de acidez por sólidos solúveis (Souza, 2007).

Joshi et al. (2021) levantam a hipótese de que tal declínio envolva mecanismo de conversão dos ácidos em açúcares, hipótese corroborada por Perkins-Veazie e Fernandez (2017) que demonstraram a diminuição significativa dos ácidos málicos e cítricos em apenas 7 dias de armazenamento de amora. Souza (2007) argumenta que a diminuição da acidez total titulável em amora é uma situação possível no armazenamento. Em estudo que levantou dados da acidez por 15 dias do armazenamento da fruta. Pequenos frutos como o mirtilo parecem se comportar de maneira semelhante, havendo uma tendência geral de queda dos valores de acidez em todos os tratamentos, ocorrendo um valor intermediário de significância para o T1M.

Tabela 3.3 – Parâmetro acidez total titulável do mirtilo

Amostras	Acidez total titulável em % de ácido cítrico (mmol/100 mL)	
	15° dia	28° dia
T1M	11,9 ^{ab} ± 0,07	11,26 ^a ± 0,46
T2M	12,33 ^a ± 0,22	10,63 ^a ± 0,49
T3M	12,03 ^a ± 0,01	11,60 ^a ± 0,03
T4M	11,06 ^b ± 0,17	10,90 ^a ± 0,07

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre tratamentos (teste de Tukey, $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1M: Embalagem de papel; T2M: Embalagem de papel com óleo essencial de menta; T3M: Embalagem plástica; T4M: Embalagem plástica com óleo essencial de menta.

3.3.4 Sólidos Solúveis Totais

Nos parâmetros de sólidos solúveis totais (SST), destaca-se o tratamento T3M, que apresentou valor inferior quando comparado com os demais tratamentos ao 15° dia (Tabela 3.8). Contudo, todos os valores encontram-se acima do patamar aceitável para mirtilos, uma vez que valores acima de 10 para sólidos solúveis são o limiar

aceitável mínimo, havendo o sucesso na manutenção dos valores da fruta ao decorrer do armazenamento (Reque *et al.*, 2015).

Tratamentos com óleos essenciais aparentam não afetar índices de SST de pequenos frutos. Em experimentos com cerejas sob 1°C tratadas com óleos essenciais de eugenol, timol, eucaliptol e mentol não ocorreram respostas estatisticamente significativas (Serrano *et al.*, 2005), efeito similar ao observado para os mirtilos no presente trabalho. Em experimento que observou três variedades distintas de mirtilo armazenado (*Duke*, *Bluecrop* e *Ozarkblue*) observa-se que as tendências da variação de SST detectáveis após 14 dias sob refrigeração de 4°C dizem respeito aos diferentes tipos de cultivares de mirtilo (Gonçalves *et al.*, 2017).

Tabela 3.4 – Parâmetro sólidos solúveis totais do mirtilo

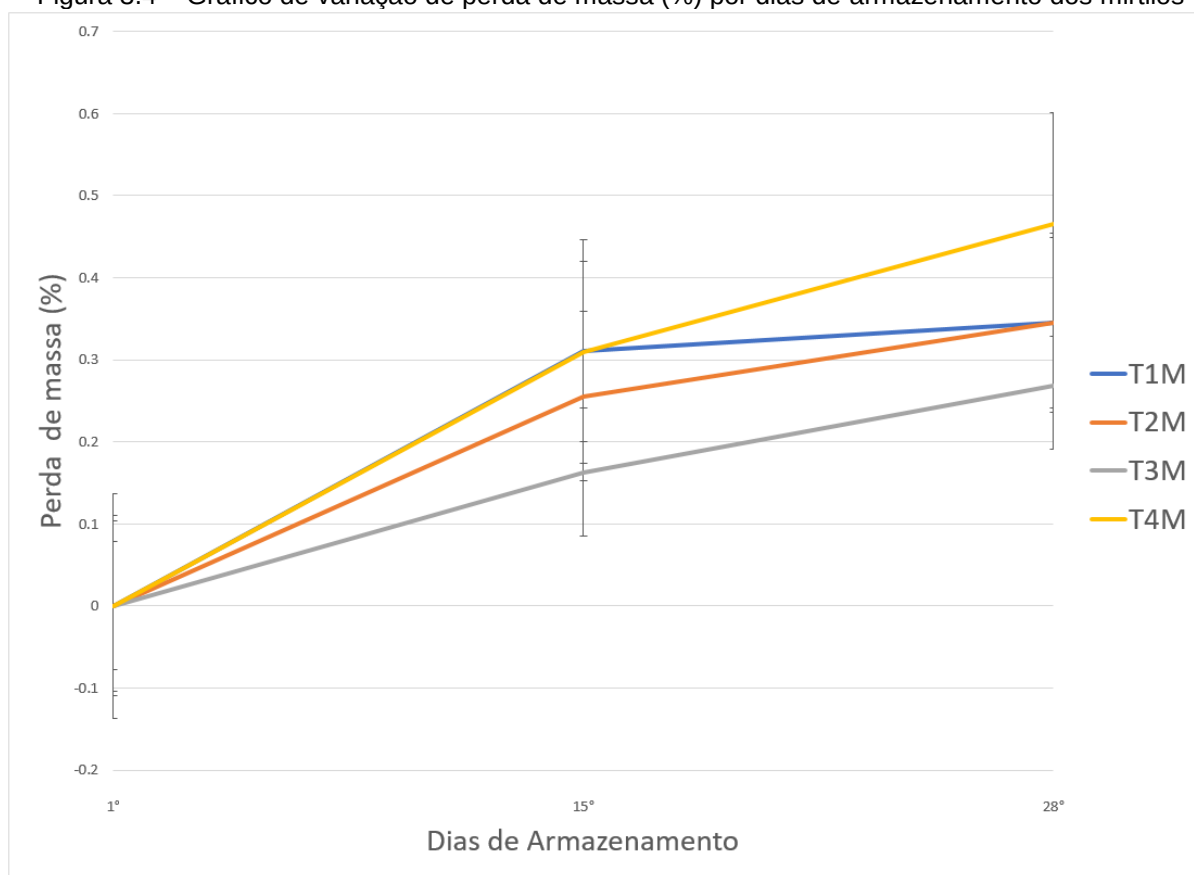
Amostras	Sólidos solúveis totais (° Brix)	
	15° dia	28° dia
T1M	13,56 ^a ± 0,06	13,7 ^a ± 0,01
T2M	13,56 ^a ± 0,04	13,63 ^a ± 0,06
T3M	13,4 ^b ± 0,09	13,36 ^a ± 0,06
T4M	13,53 ^a ± 0,06	13,46 ^a ± 0,02

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre tratamentos (teste de Tukey. $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1M: Embalagem de papel; T2M: Embalagem de papel com óleo essencial de menta; T3M: Embalagem plástica; T4M: Embalagem plástica com óleo essencial de menta.

3.3.5 Perda de Massa dos Frutos

As perdas de massa dos frutos mantiveram-se mínimas durante todo o processo de armazenagem, não chegando a 0,5% o total acumulado ao fim do armazenamento. A tendência de todos os tratamentos foi similar, havendo um sutil aumento na perda de massa durante o armazenamento. O tratamento T4M apresentou a maior taxa de perda de massa ainda que muito próxima das demais amostras. (Figura 3.4). A taxa de perda de massa verificada é congruente com os achados na bibliografia, onde é crescente sob armazenagem refrigerada e independe das variedades testadas (Joo *et al.*, 2011).

Figura 3.4 – Gráfico de variação de perda de massa (%) por dias de armazenamento dos mirtilos



Fonte: O autor. n=3. Legenda: Em azul - T1M; Em vermelho: T2M; Em cinza: T3M; Em amarelo: T4M.

3.3.6 Caracterização e Quantificação de Açúcares

Em relação a caracterização dos açúcares no mirtilo durante o armazenamento, a análise indicou três tipos principais de maneira detectável e consistente: sacarose, glicose e frutose (Tabela 3.5). Em termos de qualidade pós-colheita, a presença significativa de frutose e glicose observada nos mirtilos pode influenciar a taxa de respiração dos frutos durante o armazenamento, uma vez que esses açúcares podem servir como substratos primários para os processos metabólicos. Entretanto, não foi observado a degradação de açúcares que poderia estar associada à perda de firmeza e à redução da vida útil dos frutos.

Tabela 3.5 – Glicose, sacarose e frutose detectável no mirtilo

Amostras	Glicose (g/100 mL)		Sacarose (g/100 mL)		Frutose (g/100 mL)	
	15° dia	28° dia	15° dia	28° dia	15° dia	28° dia
T1M	6,64 ^a ± 0,11	6,51 ^a ± 0,14	0,43 ^a ± 0,01	0,44 ^a ± 0,01	6,52 ^a ± 0,13	6,50 ^a ± 0,12
T2M	6,53 ^a ± 0,08	6,52 ^a ± 0,10	0,43 ^a ± 0,01	0,45 ^a ± 0,01	6,43 ^a ± 0,09	6,49 ^a ± 0,11
T3M	6,45 ^a ± 0,13	6,39 ^a ± 0,11	0,43 ^a ± 0,01	0,46 ^a ± 0,01	6,37 ^a ± 0,13	6,37 ^a ± 0,12
T4M	6,48 ^a ± 0,18	6,47 ^a ± 0,11	0,42 ^a ± 0,01	0,44 ^a ± 0,01	6,40 ^a ± 0,17	6,45 ^a ± 0,12

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre tratamentos (teste de Tukey, $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1M: Embalagem de papel; T2M: Embalagem de papel com óleo essencial de menta; T3M: Embalagem plástica; T4M: Embalagem plástica com óleo essencial de menta.

No que se relata bibliograficamente, a colheita do mirtilo no ponto de maturação é o fator preponderante no que tange a transformação destes açúcares (Hwang; Kim; Shin, 2020). A frutose e a glicose (Tabela 3.9) são os açúcares em maior quantidade, com a sacarose (Tabela 3.9) em menor quantidade relativa quando o mirtilo é colhido maduro. A baixa concentração de sacarose (0,4%) é consistente com a tendência observada em mirtilos e outras berries, onde o metabolismo do açúcar favorece a conversão de sacarose em glicose e frutose. Isso pode ser atribuído à atividade enzimática de invertases, que hidrolisam a sacarose durante o amadurecimento da fruta, resultando em uma maior concentração de açúcares redutores. Os resultados verificados demonstram congruência com o esperado e afirmam a segurança nos casos em que o mirtilo recebeu o tratamento com óleo essencial (T2M e T4M), não havendo prejuízo à constituição dos açúcares.

3.3.7 Caracterização e Quantificação de Ácidos Orgânicos

Em relação a caracterização dos ácidos no mirtilo durante o armazenamento, a análise indicou três tipos principais de maneira detectável e consistente: ácido cítrico, ácido L-málico, e ácido succínico (Tabela 3.6). Não houve alterações estatisticamente significativas entre os tratamentos para o ácido cítrico, mas foram constatadas alterações relativas ao ácido málico e ao ácido succínico.

Outro fato importante observado e corroborado pela bibliografia é a de que a preservação de altos níveis de ácido cítrico são benéficos para o fruto do mirtilo, influenciando e na retenção de cor do suco do fruto (Song *et al.*, 2018). Revisões especializadas apontam que a pigmentação em mirtilos é condicionada especialmente pelo conteúdo de antocianinas, tal efeito explica-se pela maior estabilidade das antocianinas em níveis de pH reduzidos (Torskangerpoll; Andersen, 2005).

Observou-se a manutenção de caráter ácido no sumo do fruto. Ambientes ácidos favorecem de maneira significativa a formação da cor das antocianinas devido à natureza iônica de sua estrutura molecular (Enaru *et al.*, 2021). Yin *et al.* (2022) aduzem que a conservação da cor original do mirtilo é condicionada pela manutenção de condições ácidas na solução do mirtilo, enquanto que o pH alcalino desfavorece a estabilização das antocianinas, em estudo que analisou antocianinas

provenientes de mirtilos orgânicos. Em termos de comercialização, a verificação do alto número de ácidos é positiva para o quesito sensorial da cor do mirtilo.

Tabela 3.6 – Teores de ácido cítrico, ácido L-málico e succinílico no mirtilo

Amostras	Ácido cítrico (g/L)		Ácido L-málico (g/L)		Ácido succinílico (g/L)	
	15° dia	28° dia	15° dia	28° dia	15° dia	28° dia
T1M	7,74 ^a ± 1,22	7,55 ^a ± 3,99	0,69 ^a ± 0,03	0,71 ^a ± 0,02	1,05 ^a ± 0,13	1,18 ^a ± 0,09
T2M	7,87 ^a ± 4,05	7,34 ^a ± 3,65	0,68 ^a ± 0,04	0,67 ^{ab} ± 0,03	1,02 ^a ± 0,06	1,14 ^{ab} ± 0,07
T3M	7,81 ^a ± 1,38	7,72 ^a ± 2,26	0,66 ^a ± 0,01	0,68 ^{ab} ± 0,01	1,02 ^a ± 0,10	0,98 ^b ± 0,05
T4M	7,27 ^a ± 1,02	7,46 ^a ± 2,08	0,63 ^a ± 0,01	0,64 ^b ± 0,01	0,89 ^a ± 0,08	1,02 ^{ab} ± 0,02

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre tratamentos (teste de Tukey. $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1M: Embalagem de papel; T2M: Embalagem de papel com óleo essencial de menta; T3M: Embalagem plástica; T4M: Embalagem plástica com óleo essencial de menta.

O ácido cítrico figura como ácido de maior presença em mirtilos, havendo a redução destes valores após a maturação da fruta (Hwang; Kim; Shin, 2020). Os resultados obtidos apontam que os tratamentos A os quais o mirtilo fora investido não agregam em alterações no ácido cítrico, ácido o qual confere também o caráter sensorial ácido característico dos frutos do mirtilheiro. O perfil ácido característico do mirtilo demonstra ser definido pela genética do mirtilheiro e não apresenta diferenças bruscas mediante alterações nas dinâmicas de armazenamento, sendo característico maiores valores de ácido succínico nas variedades da categoria *rabbiteye* do que nas do tipo *highbush* (Ehlenfeldt; Meredith; Ballington, 1994).

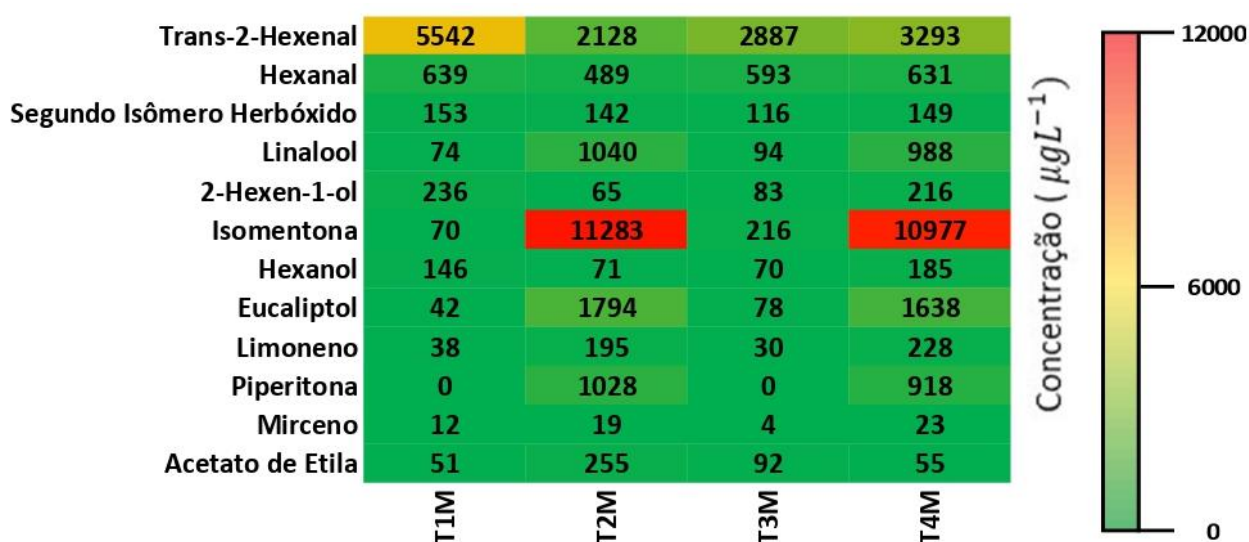
Entretanto, foram detectadas alterações nos valores de ácido L-málico e ácido succínico ao 28º dia de armazenamento, com o tratamento T3M apresentado o menor valor. O ácido málico é o segundo ácido em maior presença no mirtilo, apesar de figurar em quantidade muito menores quando comparado ao ácido cítrico (Forney *et al.*, 2012). O mirtilo armazenado pode apresentar uma leve tendência de queda dos valores de acidez no decorrer do armazenamento. Tal efeito já fora constatado para variedades como a *Ozarkblue* em um período de 14 dias após colheita (Gonçalves *et al.*, 2017) e podem ter correlação com a variação dos ácidos orgânicos do mirtilo armazenado por um mês.

A presença de variações em ambiente refrigerado é colocada em concordância pela literatura. Em estudo pertinente ao mirtilo refrigerado a 2°C armazenado sob diferentes tratamentos de atmosfera controlada (controle; 0,03% CO₂ e 21% O₂; 10% CO₂ e 5% O₂; 100% CO₂) indicou variações para o ácido málico no período de 72 horas. Em alguns casos, havendo estatisticamente significativo de ácido málico no decorrer do armazenamento após 24 horas do início sob atmosferas controladas, sendo seguidos por reduções estatisticamente nas avaliações de 48 horas e 72 horas. Justifica-se no trabalho em questão que a causa para a variação de ácidos orgânicos da fruta do mirtilheiro, onde o tratamento controle atingiu os menores valores de ácidos orgânicos (Smrke *et al.*, 2024).

3.3.8 Análise de Compostos Voláteis

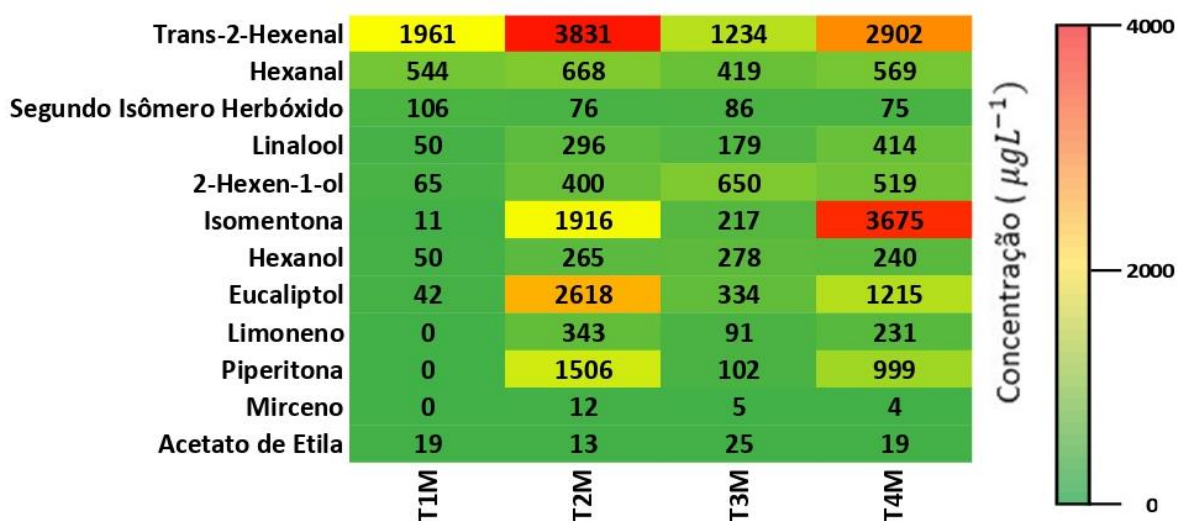
Do grupo dos aldeídos, detectou-se compostos como o trans-2-hexenal e hexanal, enquanto que para os álcoois (também conhecidos como aldeídos do tipo C6) optou-se pelo hexanol e 2-hexen-1-ol. Dentre os terpenos, foram selecionados o linalool, eucaliptol, limoneno e mirceno além do segundo isômero herbóxico. Enquanto que para monitorar o grupo de ésteres, elencou-se o acetato de etila, presença destes na composição aromática do mirtilo (Yan *et al.*, 2020). Além deste, o material bibliográfico reporta a presença de limoneno e mirceno na composição aromática de óleo essencial de menta (Zhang, Jiguang *et al.*, 2022), estes que também constam no mirtilo (Farneti *et al.*, 2017). Os resultados são exibidos nas Figuras 3.4 e 3.5.

Figura 3.4 - Mapa de calor dos aromas do mirtilo armazenado sob diferentes tratamentos no 15º dia de armazenamento



Fonte: Autor. N=3. Legenda – T1M: Embalagem de papel; T2M: Embalagem de papel com óleo essencial de menta; T3M: Embalagem plástica; T4M: Embalagem plástica com óleo essencial de menta.

Figura 3.5 - Mapa de calor dos aromas do mirtilo armazenado sob diferentes tratamentos no 28° dia de armazenamento



Fonte: Autor. N=3. Legenda – T1M: Embalagem de papel; T2M: Embalagem de papel com óleo essencial de menta; T3M: Embalagem plástica; T4M: Embalagem plástica com óleo essencial de menta.

Que os aromas do óleo essencial seriam pronunciados, optou-se por investigar o aparecimento de grupos da isomentona, sendo esse selecionado como componente indicador da presença do óleo essencial. A piperitona é também um possível indicador, ocorrendo em quantidade significativa, porém inferior a isomentona em óleo essencial de menta. O aroma da piperitona é descrito como herbáceo e mentolado, enquanto que o aroma da isomentona remete a menta refrescante (Schmidt *et al.*, 2009).

Estas composições específicas foram os alvos da investigação científica com o intuito de valorizar aromas que prevalecessem mais ou que fornecessem maiores desdobramentos mediante. A bibliografia aponta que os terpenos do linalool e do eucaliptol tendem a aparecer em proeminência nas análises de aroma de mirtilos (Overton; Manura, 1999), sendo o odor do linalool considerado como “floral” (Schmidt *et al.*, 2009). No caso específico do trabalho, o terpeno da isomentona dominou os tratamentos T2M e T4M, uma vez que o OEM modifica a configuração aromática dos terpenos no mirtilo.

O eucaliptol agrega em odores que remetem ao que pode ser classificado como “frescor de eucalipto” (Schmidt *et al.*, 2009). A presença proeminente de eucaliptol tanto no 15° (Tabela 3.4) como ao 28° (Tabela 3.5) indicam alto aspecto residual do OEM aplicado nos tratamentos (ainda que reduzido), sendo este mais um indício da não evanescência do composto volátil aplicado no tratamento.

Em relação ao limoneno observou-se que o mesmo apresentou forte no 28º dia de armazenamento (Figura 3.3) nos tratamentos T2M, T3M e T4M. O limoneno é atribuído aos aromas de frutas cítricas, como as do limão e da laranja, mas a literatura atualizada contesta essa associação (Kvittingen; Sjursnes; Schmid, 2021). Verifica-se a ocorrência desse aroma em tratamentos aos quais não ocorreram adições de óleo essencial de menta (Zhang, Jiguang *et al.*, 2022) sendo um indício no trabalho de que essa pequena quantidade de limoneno é incrementada quando se tem a adição de OEM.

Durante a primeira avaliação dos aromas no 15º dia (Figura 3.2), o aroma da isomentona supera os demais compostos aromáticos selecionados nos tratamentos que levaram óleo essencial de menta (T2M e T4M). Tal ocorrência confere com a percepção sensorial dos avaliadores durante o estudo, onde o aroma residual de óleo essencial durante os ensaios (Figura 3.2) e permaneceu aparente ao se manipular as bandejas durante o último dia avaliativo (Figura 3.2). O mirceno permaneceu como um terpeno diminuto nas composições, não sendo afetado pelos tratamentos que adicionaram OEM, havendo apenas traços deste em ambos os dias avaliados em todos os tratamentos. O odor do mirceno é categorizado como sendo um fraco aroma de frutas cítricas (Schmidt *et al.*, 2009).

Em concentrações de óleo essencial de menta em 200 ppm (*O. sanctum*) a 100 ppm (*P. persica* e *Z. officinale*) já percebe-se efeito positivo na inibição de ação do fungo deteriorante *Botrytis sp.* na fruta da uva (Tripathi; Dubey; Shukla, 2008). Configura-se, portanto, como resposta positiva quanto a presença do aroma do óleo essencial de menta até o final do estudo, ainda que em quantidades reduzidas após um mês de armazenamento, constando como valor de maior detectibilidade dentre os demais aromas.

De maneira geral, os aldeídos se destacaram na análise do perfil aromático, sendo já esperado pois em trabalhos anteriores verifica-se que estes podem chegar a até 50% dos compostos aromáticos do mirtilo (Farneti *et al.*, 2017), o que revela que tal classe influencia no aroma da fruta. Tal situação contudo não se sucedeu no experimento, uma vez que o composto da isomentona (terpeno) foi detectado em uma quantidade muito elevada nos tratamentos T2M e T4M em ambos os mapas de calor (Figuras 3.1 e 3.2).

O aldeído trans-2-hexenal apresentou particular proeminência, constando altos valores que variavam de 2128 até 5542 em diferentes tratamentos na primeira avaliação aromática (Figura 3.2). O aroma permaneceu alto durante o último ponto avaliado (Figura 3.3), sendo destacado em ambos os tipos de embalagem que levam o óleo essencial de menta (T2M e T4M). Enquanto que os valores de trans-2-hexenal permaneceram altos durante ambos os pontos analisados (Figura 3.4 e 3.5), os demais aldeídos mantiveram constância, com exceção do 2-Hexen-1-ol, que aumentou sua presença ao 28° de armazenamento. O álcool do hexanol aumentou ao 28° dia para os tratamentos T2M, T3M e T4M. Reporta-se que os aromas dos aldeídos e dos álcoois remetem ao odor de “gramíneas” e afetam negativamente a característica sensorial odorífera de frutas de pêra armazenadas (Zlatic *et al.*, 2016).

Já para as concentrações de hexanal, a bibliografia aponta a normalidade para a flutuação desses valores durante armazenamentos refrigerados prolongados, podendo haver redução deste aroma após o armazenamento refrigerado de mirtilo em 0°C por 15 e 60 dias. As flutuações apresentaram tendência de queda, apesar de se estabilizarem dos 15 até os 28 dias de armazenamento (Yan *et al.*, 2020). O aroma do hexanal é relatado como responsável por odores folhosos e associados ao “verde” (Du; Rouseff, 2014) e aparecem traços em baixa quantidade no perfil aromático da menta (Zhang, Jiguang *et al.*, 2022).

Aromas derivados de álcoois tendem a ser ruins para pequenos frutos, como constatado nos aromas estudados da cereja vermelha. Acumulações alcóolicas como a do hexen-1-ol e do hexanol foram detectadas em cereja vermelha em estágios avançados de amadurecimento, afetando o valor sensorial do fruto. Tal acúmulo de álcoois demonstra ocorrer após o período (Zhang *et al.*, 2007). Entretanto, a influência do OEM agregou em uma característica sensorial que sobrepujou a percepção de outros aromas.

O éster monitorado apresentou decréscimo ao se comparar o 15° dia (Figura 3.4) com o 28 (Figura 3.5). Ésteres são compostos aromáticos que remetem odores frutados e ricos para frutas, considerado importante em estudos de aromas de maçãs (Ban *et al.*, 2010) e de morangos (Aharoni *et al.*, 2000). O decréscimo deste pode indicar uma depreciação do caráter aromático de frutas, sendo um possível indício do efeito generalizado proveniente do tempo de armazenamento do mirtilo por quase um mês.

O composto do herbóxico chama particular atenção. O terpeno em questão não é mencionado em estudos pertinentes à mirtilo, mas é reportado como sendo associado aos aromas do gênero Citrus, ocorrendo em espécies de seus derivados do néctar de flores de citrus (Karabagias; Nayik, 2023). Os valores iniciaram constantes, mas ao final do estudo, os tratamentos que não levaram óleo essencial apresentaram valores inferiores. Os achados verificados são exclusivos e permitem ampliar o leque de estudos dos terpenos composicionais dos aromas voláteis do fruto do mirtilo.

Coincidir compostos aromáticos pode ser benéfico do ponto de vista sensorial, pois pode aperfeiçoar a percepção do odor da fruta, tornando mais harmônico a adição do óleo essencial, categoria de composto caracterizada pela emissão de compostos voláteis aromáticos. Uma vez que tais odores se sobressaem, tal como constatado no estudo, o uso de óleos essenciais que possam harmonizar sensorialmente com a fruta tratada é recomendável a fim de evitar a ocorrência de odores fortes que descaracterizem o aroma natural da fruta. Uma alternativa a fim de combinar aromas favoráveis seria a combinação de óleos essenciais, um procedimento recomendável a ser explorado na preservação de frutas na pós-colheita devido ao alto poder destes óleos em baixas quantidades (Perumal *et al.*, 2022).

3.4 CONCLUSÃO

Os resultados apontaram que o uso de embalagem plástica contendo óleo essencial de menta conferiu alterações no armazenamento de mirtilo considerando a acidez total titulável e sólidos solúveis totais. O OEM não exerceu influência significativa nos parâmetros físico-químicos dos frutos armazenados. As análises de compostos voláteis revelaram, por meio dos mapas de calor, o alto poder residual do OEM, demonstrando que este tende a fixar em frutas por longos períodos de tempo.

Pesquisas contemplando novos materiais viáveis para a armazenagem de frutas, de preferência que sejam compostos por materiais biodegradáveis e com novas técnicas aplicáveis para a aplicação de ingredientes ativos são recomendados como passos futuros a serem abordados considerando os resultados obtidos no presente estudo.

CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DE BIOPLÁSTICO ATIVO EM AMEIXA EUROPEIA MINIMAMENTE PROCESSADA

Resumo

O estudo avaliou os parâmetros físico-químicos de ameixas refrigeradas com um grupo de controle (C) além de dois tratamentos distintos: Veículo bioplástico ativo (BA) composto por placas de amido de mandioca associado com bagaço de malte produzidos por termoformagem e contendo óleo essencial de menta em sua formulação, e recobrimento amiláceo (R) por 81 dias de armazenamento, todos os grupos foram mantidos sob refrigeração e analisada em intervalos de tempo de 28, 53 e 81 dias. A aplicação do OEM como ingrediente ativo em veículo bioplástico apresentou retardamento na maturação evidenciado pelos parâmetros de cor de polpa, além de índices de firmeza intermediários. O tratamento de Recobrimento apresentou os maiores índices de firmeza no 28º dia. Ambos os tratamentos apresentaram redução de sólidos solúveis totais ao 28º e 81º dia, bem como maior luminosidade da casca. A análise visual demonstrou que o uso de tratamentos com óleo essencial e recobrimento mitigam o murchamento. A análise qualitativa de açúcares apontou para a possibilidade da influência nas vias metabólicas relacionadas à maturação, com o Controle acumulando mais sorbitol aos 59º e 81º dias de armazenagem. O OEM produziu efeito na retardação de maturação de ameixa e requer maiores estudos.

Palavras-chave: *Prunus domestica* L.; óleo essencial de menta; materiais biobaseados ativos; recobrimento amiláceo.

Abstract

The study evaluated the physicochemical parameters of refrigerated plums with a control group (C) in addition to two distinct treatments: active bioplastic vehicle (BA) composed of cassava starch plates associated with malt bagasse produced by thermoforming and containing mint essential oil in its formulation, and starchy coating (R) for 81 days of storage, all groups were kept under refrigeration and analyzed at time intervals of 28, 53 and 81 days. The application of OEM as an active ingredient in bioplastic vehicle showed a delay in ripening evidenced by the pulp color parameters,

in addition to intermediate firmness indices. The Coating treatment showed the highest firmness indices on the 28th day. Both treatments showed a reduction in total soluble solids on the 28th and 81st days, as well as greater luminosity of the peel. Visual analysis demonstrated that the use of treatments with essential oil and coating mitigate wilting. The qualitative analysis of sugars indicated the possibility of influence on metabolic pathways related to ripening, with the Control accumulating more sorbitol at 59 and 81 days of storage. The OEM had an effect on delaying plum ripening and requires further studies.

Keywords: *Prunus domestica* L.; mint essential oil; active biobased materials; starchy coating.

4.1 INTRODUÇÃO

A ameixa europeia é uma cultura pouco explorada no território nacional, sendo restrita para a industrialização na região sul do Brasil. O incentivo e desenvolvimento de tecnologias na pós-colheita são benéficos para a popularização da cultura em território nacional. A possibilidade da aplicação de tecnologias de baixo impacto ao meio ambiente e com efetividade para a preservação de frutas é de grande interesse em conjunto com o armazenamento refrigerado.

O uso de óleos essenciais apresenta-se na tecnologia de alimentos na figura de um ingrediente ativo. A atuação de óleos essenciais é benéfica para a preservação de alimentos do ponto de vista microbiológico, contudo, faz-se importante a necessidade de se testar indícios de efeitos benéficos provenientes de tais materiais. Em adjunto a isso, a criação de novas maneiras de se incorporar tal material faz-se necessária, uma vez que as tecnologias de preservação alinhadas com baixo impacto ambiental estão em voga e melhores aceitas pelo público. Viabilizar e verificar a possibilidade inovadora de se combinar óleo essenciais em bases bioplásticas foram estipulados como objetivos a serem cumpridos pelo presente capítulo.

Técnicas envolvendo o emprego de recobrimentos podem agregar resultados positivos para frutos armazenados. A bibliografia apresenta a técnica de recobrimento de superfície de frutos que consistente na imersão de frutos em soluções filmogênicas, o que pode propiciar ao fruto maior segurança alimentar, qualidade e quantidade de

nutrientes, extensão do período de *vida útil*, além da prevenção de trocas gasosas do fruto (Andriani; Handayani, 2023). O amido como matéria prima para elaboração desses materiais filmogênicos tem se mostrado eficiente.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar diferentes condições de embalagem no armazenamento de ameixas europeias em câmara fria em 0 °C com o intuito de investigar uma possível ação benéfica na pós-colheita da fruta. Os tratamentos consistiram em: grupo controle (sem tratamento), grupo Bioplástico composto por placas baseados em amido de mandioca, bagaço de malte e óleo essencial de menta (OEM), e grupo recobrimento, cujos frutos foram recobertos com filme de amido. A investigação de tais técnicas permite prospectar possíveis respostas e direcionamentos para pesquisas futuras que visem a incorporação de tecnologias de baixo impacto ao meio ambiente e que surtam efeito benéfico para a preservação de alimentos.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Materiais

Dentre os materiais constituintes do bioplástico, o amido de mandioca adotado contou com misturas das marcas *Jade Leaf* (Bancoque, Tailândia) e *Cock* (Bancoque, Tailândia). O bagaço de malte empregado foi fornecido pela empresa Leibinger (Ravensburg, Alemanha), glicerol (Merck, Darmstadt, Alemanha) como agente plastificante tanto para o bioplástico como para o recobrimento. O óleo essencial de menta (*Japanisches Heilpflanzenöl*, Mivolis, Alemanha) foi empregado no bioplástico.

A ameixa utilizada no experimento é do tipo europeia e da variedade Baronesse, sendo fornecida por produtores locais das regiões próximas da cidade Ravensburg (Baden-Württemberg, Alemanha), por meio de parceria firmada com o KOB (Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee).

As ameixas foram colhidas no ponto recomendável pela University of Saskatchewan no ponto ideal para consumo in natura, que é quando a epiderme do fruto apresenta leve aspecto brilhoso e encerado além da fruta estar levemente suave ao toque (University of Saskatchewan, 2024) e receptadas no armazém da instituição,

sendo os mesmos armazenados em *bins* e levados para armazém para a implementação de experimento.

As ameixas foram armazenadas em câmara de refrigeração nos *bins* por um período de 24 h sob a temperatura de 1°C e umidade relativa de 95%. As ameixas colhidas foram randomizadas, em diferentes caixas de tamanho padronizado onde foram aplicados os métodos de tratamento (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Processo de aleatorização dos frutos das caixas de madeira para as caixas empregadas no experimento



Fonte: O autor.

4.2.2 Métodos

As ameixas destinadas aos tratamentos foram aleatorizadas e distribuídas em diferentes caixas com as seguintes dimensões: altura de 17 cm, largura de 26 cm, comprimento de 40 cm e espessura de 0,25 cm. Cada caixa foi preenchida com uma quantidade proporcional de frutos (em média x frutos). Foram aplicados três tratamentos distintos durante o armazenamento refrigerado (em câmara fria) das ameixas: Controle (sem tratamento): Frutos armazenados sem a aplicação de qualquer tratamento, exceto o controle de temperatura nas câmaras frias (Figura 4.5). Bioplástico: Frutos acondicionados em caixas contendo uma película de bioplástico desenvolvida a partir de amido de mandioca, bagaço de malte e óleo essencial de menta (OEM), inserido como ativo na formulação. Recobrimento: Frutos recobertos individualmente com um filme comestível à base de amido (Figura 4.6).

O tratamento Controle consistiu apenas no armazenamento refrigerado monitorado, sem a aplicação de quaisquer técnicas de recobrimento ou bioplástico.

Para o grupo Bioplástico, as placas contendo óleo essencial de menta foram inseridas diretamente sobre os frutos armazenados nas caixas. A formulação do bioplástico foi preparada conforme descrito previamente no capítulo 2, contendo 18% de bagaço de malte, 0,5 ml de óleo essencial De menta e outros ingredientes estruturantes.

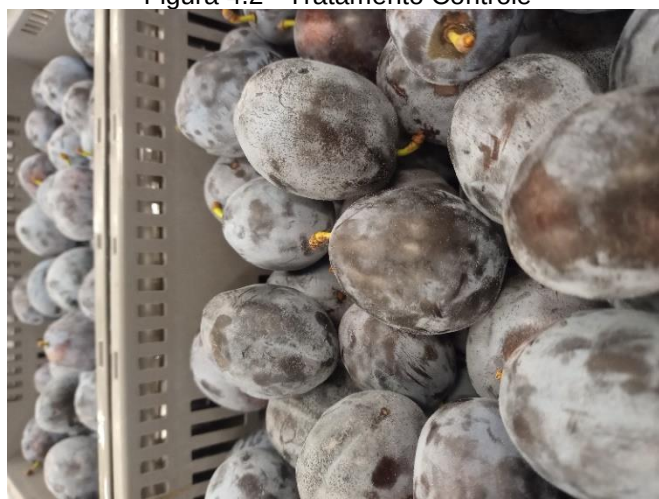
A preparação das amostras de bioplástico foi realizada utilizando-se a técnica de termoformagem. Inicialmente, 18 g de bagaço de malte, 72 g de amido termoplástico, 9 g de glicerol e 100mL de água foram homogeneizados em um béquer com o auxílio de um bastão de vidro. O óleo essencial de menta foi adicionado à formulação na fase final de mistura, assegurando uma dispersão uniforme. As placas de bioplástico obtidas por termoformagem apresentaram dimensões de 20 cm de comprimento, 11,2 cm de largura e espessura de 0,35 cm.

Já o tratamento Recobrimento consistiu na aplicação direta de um filme à base de amido sobre a superfície dos frutos, criando uma barreira protetora capaz de influenciar as trocas gasosas e a taxa de respiração das ameixas durante o armazenamento refrigerado. Os tratamentos foram mantidos sob condições controladas de refrigeração durante todo o período experimental, e amostras de cada tratamento foram retiradas periodicamente para análises físico-químicas e microbiológicas.

As diferentes caixas que receberam as ameixas aleatorizadas dos *bins* cujas proporções são 17 cm X 26 cm X 40cm (largura X altura X comprimento) com espessura do plástico de 0,25 cm. As frutas preencheram as caixas de maneira proporcional para os diferentes tratamentos. Os três tratamentos aplicados no armazenamento de ameixa em câmara fria consistiram em: Controle (sem tratamento), grupo Bioplástico composto por materiais baseados em amido de mandioca, bagaço de malte e óleo essencial de menta (OEM), e grupo Recobrimento, cujos frutos foram recobertos com filme de amido.

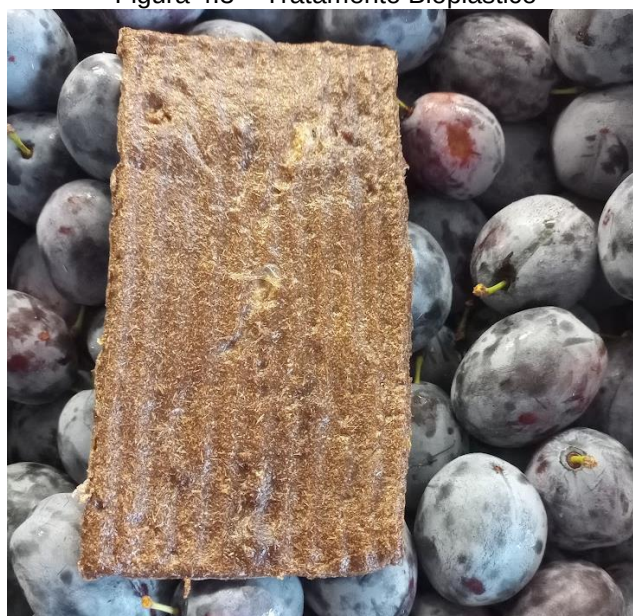
O tratamento Controle foi desenvolvido sem o uso de qualquer técnica de armazenamento exceto o armazenamento refrigerado monitorado (Figura 4.2). O uso de veículo bioplástico para a inoculação de óleo essencial foi executado por meio de inserção do bioplástico sobre os frutos armazenado nas caixas (Figura 4.3), sendo denominados como Bioplásticos.

Figura 4.2 - Tratamento Controle



Fonte: O autor.

Figura 4.3 – Tratamento Bioplástico



Fonte: O autor.

Para a obtenção da amostra de Bioplástico, a mistura de ingredientes foi misturada em béquer com auxílio de bastão de vidro. O OEM foi inserido na quantidade de 0,5 ml em conjunto com o restante da formulação para bioplástico com 18% de bagaço, este já devidamente descrita e detalhada no capítulo 2. Foram obtidas placas de bioplástico por termoformagem, cujas dimensões foram: Comprimento de 20 cm; largura 11,2 cm e espessura de 0,35 cm.

O tratamento Recobrimento consistiu em solução filmogênica contendo amido de mandioca e imersão dos frutos na solução. Para a técnica de recobrimento, houve a dissolução de 20 g de amido com 10 g de glicerol em 1000 mL de água, sob

homogeneização constante mediante o uso de bastão de vidro em chapa aquecedora sofrendo aquecimento em uma taxa de 5°C por min até chegar em 70°C mensurados por termômetro de vidro.

Após a temperatura chegar em 70°C ocorreu a gelatinização do amido e o aquecimento da solução cessou, sendo o conteúdo filmogênico colocado em repouso até atingir a temperatura ambiente. Os frutos foram mergulhados na solução em temperatura ambiente (Figura 4.4) por um min e então removidos, sendo deixados na caixa do tratamento, seguindo a metodologia adaptada de Stracke et al. (2023).

Figura 4.4 – Imersão das ameixas em solução filmogênica para o tratamento Recobrimento



Fonte: O autor.

Os três tratamentos foram organizados em caixas de mesmas proporções, havendo três repetições para cada tratamento a serem avaliados em três pontos distintos (28, 53 e 81º dias), totalizando 27 caixas preenchidas com ameixa (Figura 4.6). Ademais, todas as ameixas armazenadas em câmara de refrigeração contaram com gavetas específicas a fim de isolar cada tratamento, sem que houvesse a interferência do efeito do ingrediente ativo do óleo essencial (Figura 4.5). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado.

Figura 4.5 – Caixas com ameixas tratadas e armazenadas em gavetas na estrutura de câmara fria



Fonte: O autor.

4.2.3 Análises Físico-químicas das Frutas Embaladas

Sob diferentes tratamentos em ambiente refrigerado prolongado na temperatura de 0°C, em três pontos (28, 53 e 81 dias).

4.2.3.1 Cor

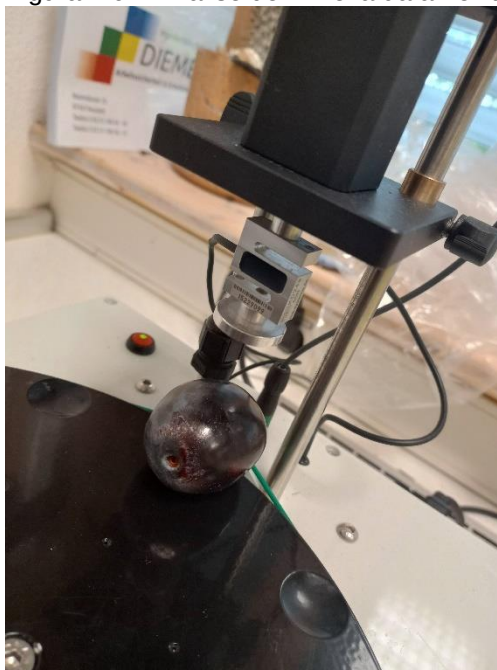
Os parâmetros pertinentes a cor avaliados foram: L (luminosidade que vai do branco (100) até o preto (0)); a* (matiz de cromaticidade que vai do verde ao vermelho) e b* (matiz de cromaticidade do azul até o amarelo) (Ferreira; Spricigo, 2017; Kalluf, 2006) além dos parâmetros H (ângulo hue, o qual define por meio de ângulo a localização da cor detectável em paleta de cores) e Chroma (o valor de croma define a cromaticidade, ou seja, a “vivacidade da cor perceptível”) (Pantone, 2023).

As cores de casca dos frutos foram verificadas por aparelho automatizado de colorimetria Minolta CR-300 (Konica Minolta, Tóquio, Japão), conforme metodologia adaptada do fruto da pêra por Balkees et al. (2022). Sendo inspecionadas 10 frutas por tratamento. Para a ameixa, tanto a epiderme externa do fruto como a polpa interna da fruta cortada ao meio via secção longitudinal foram avaliadas.

4.2.3.2 Firmeza

A firmeza do fruto (Figura 4.6) foi estipulada pela unidade de kg.cm^{-2} . A análise de firmeza foi determinada mediante uso do equipamento auto-programável Firmtech FT7 (Umweltanalytische Produkte GmbH, Güss, Alemanha) onde os 10 frutos selecionados de cada tratamento foram distribuídos em uma mesa em forma de disco giratória, com cada ameixa sendo analisada de maneira mecanizada.

Figura 4.6 – Análise de firmeza da ameixa



Fonte: O autor.

4.2.3.3 Sólidos solúveis totais

A determinação de sólidos solúveis totais seguiu a metodologia adaptada de mirtilos por Harb et al. (2014) para ameixas, uma vez que a metodologia é aplicável para qualquer tipo de fruta. Fez-se uso de técnica de gotejamento do suco de fruta puro em leitor de aparelho refratômetro digital PR-1 (Atago, Tóquio, Japão), havendo leitura em dez frutos por tratamento.

4.2.3.4 Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada por meio de titulação automatizada em equipamento Robotic Analyzer Light (Metrohm, Herisau, Suíça). A acidez foi determinada em metodologia de titulação ácido-base mediante uso de solução alcalina NaOH 0,1 M, com os resultados expressados da acidez titulável pela massa equivalente de ácido cítrico (percentagem de ácido cítrico por 100 g de material fresco). Para a execução da análise foram pesados 5 g de fruta por tratamento em balança gravimétrica, com essa massa posteriormente macerada e homogeneizada.

Essa massa foi então adicionada em 50 mL de água destilada, além de 5 gotas de fenolftaleína e seguiu para a titulação com NaOH 0,1 M até que ocorra o ponto de viragem (alteração da cor na amostra). Após isso, o valor utilizado para se chegar ao ponto de viragem foi registrado e utilizado no cálculo da acidez (Ávila et al., 2020). O valor numérico do fator de correção para ácido cítrico é de 0,064 (Sadler; Murphy, 2010).

4.2.3.5 pH

A verificação de potencial hidrogeniônico (pH) do produto foi obtida mediante o uso de phmetro (Metrohm, Herisau, Suíça) em 5 g de ameixa macerada e homogeneizada, diluída em solução de 50 mL contendo as amostras dos tratamentos. A leitura realizada foi realizada em triplicata e o resultado plotado em gráfico.

4.2.3.6 Análise de açúcares

A análise quantitativa e qualitativa de açúcares obedeceu a mesma sistemática metodológica estabelecida no trabalho de Thewes, Brackmann e Neuwald (2019), fazendo uso da técnica de cromatografia líquida de alta performance (HPLC, Bischoff, Alemanha). Os açúcares das amostras foram analisados isocraticamente em colunas de troca catiônica HC-75 Ca^{2+} nas medidas de 305 x 7,8 mm (Hamilton, EUA), fazendo uso de água bi-destilada no fluxo constante de 0,4 mL por minuto para a fase móvel.

A temperatura isotérmica foi de 80°C. O detector do índice de reflectância (Bischoff, Alemanha) foi usado para determinar a concentração dos açúcares da

sacarose, glicose, frutose e sorbitol. O processo analítico se deu em cerca de 32 min e a quantificação e identificação dos açúcares ocorreu por meio da comparação do tempo de retenção e da área dos padrões de cada substância.

Os limites de detecção foram identificados por meio da comparação dos tempos de retenção dos padrões químicos específicos preparados sob diferentes concentrações, em consonância com procedimento adotado no trabalho de Wang *et al.* (2010).

4.2.3.7 Qualidade visual

A avaliação de qualidade visual da ameixa foi definida duplamente durante cada ponto de análise, havendo a avaliação das 10 ameixas necessárias para as análises físico-químicas bem como a avaliação de todo o lote restante de ameixas removidos no ponto de análise.

As amostras foram definidas quanto a sua qualidade visual externa e então abertas a fim de verificar o estágio de escurecimento da polpa, havendo graduação de 0 a 2 quanto a sua cor e consistência (0 para ótimas condições, 1 para manchas de escurecimento de polpa e 2 para alto nível de escurecimento de polpa) fazendo uso da metodologia sistematizada pelo *Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee* (Figura 4.7).

Figura 4.7 – Escala de notas para avaliação de escurecimento de polpa de ameixa



Fonte: Relatório de trabalho de pós-colheita e armazenamento de ameixa variedade "Baronesse" de Neuwald (2020). Legenda das notas com frutas representativas – 1: Baixo escurecimento de polpa; 2: Médio escurecimento de polpa e 3: Alto escurecimento de polpa.

A análise subjetiva performeda por um pesquisador fixo a fim de evitar variância entre avaliadores executou em cada ponto da análise a quantificação discriminativa de frutos saudáveis, com podridão frutal e com sintomas de murchamento. Os resultados foram expressos em porcentagem (%) de frutos, contabilizando o número de ameixas avaliadas divididas pelo total de frutos. Foram escolhidas ameixas aleatoriamente do lote de teste, antes da execução das análises físico-químicas destrutivas.

4.2.4 Análise Estatística

O registro dos dados foi conduzido no *software* Excel do pacote Office 2013 (Microsoft, EUA). Empregou-se análise de variância (ANOVA) seguido do teste de hipóteses do tipo Tukey (5% de significância) para avaliar a diferença estatística entre as comparações múltiplas de médias obtidas nos tratamentos utilizados (Banzatto Kronka, 2006). O programa utilizado para o cálculo de médias e plotagem de gráficos foi o Statística 9.0 (TIBCO, EUA).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Comportamento Geral dos Tratamentos Durante o Armazenamento dos Frutos

O tratamento Bioplástico ativo apresentou indícios de contaminação de origem fúngica aos 53 dias de armazenamento, havendo prontamente a remoção do material (Figura 4.8). Considerou-se que o material tenha exercido função ativa até essa data, correspondendo a mais da metade dos 81 dias de armazenamento. Após esse período, o material passou a ter uma função residual do OEM como ingrediente ativo no restante do estudo conduzido.

Figura 4.8 – Foto ampliada do aspecto da esporulação fúngica do tratamento Bioplástico



Fonte: O autor.

A limitação de tempo do emprego do material Bioplástico com ingrediente ativo foi um dos aspectos mais inusitados pertinentes ao estudo. No decorrer do armazenamento, observou-se que a tendência do material acumular umidade condiciona a possibilidade de contaminação fúngica. Tal informação é de grande relevância, pois indica que posteriores reusos da técnica em foco devem atentar-se ao fator de umidade cumulativa passível de ocorrer no transcorrer de armazenamento de tecido vegetal biologicamente ativo. Tal fato revela que o uso de bases bioplásticas por períodos prolongados, em contato com produto alimentício apresentando alta umidade e respiração, não demonstra viabilidade nas formulações testadas. Quanto

ao controle e o tratamento de recobrimento, estes não demonstraram nenhuma alteração visível detectável durante a condução do estudo.

4.3.2 Cor

O valor de L^* , que representa a luminosidade, revela que a amostra apresenta uma cor escura, próxima ao preto, indicando baixa reflexão de luz. O valor de a^* mostrou uma leve tendência à tonalidade vermelha e b uma tendência a coloração azulada. Essa coloração avermelhada e um tom azulado pode estar relacionada à presença de compostos como antocianinas ou outros pigmentos típicos de frutas com essas características, como flavonoides.

A luminosidade do exterior (Tabela 4.1) demonstrou que o tratamento Bioplástico Ativo contou com resultados similares aos 28° e 53° dia de avaliação. Frutos de ameixa maduros devem apresentar cores externas escuras (Usenik *et al.*, 2008), sendo aceitável os baixos valores de L visualizados.

Em experimento com ameixa japonesa, com recobrimento de hidroxipropilmetilcelulose combinado com diferentes quantidades de óleo essencial de orégano e bergamota, houve aumento da luminosidade na medida que a quantidade de óleos essenciais foram adicionados (Choi; Singh; Lee, 2016). Tal informação pode credibilizar o favorecimento dos tratamentos Bioplástico Ativo e Recobrimento na pós-colheita de ameixa, em consonância com os valores superiores detectados ao 28° dia de armazenamento (Tabela 4.1).

Os aspectos pertinentes às matizes avaliadas nas escalas de a^* e b^* (Tabela 4.1) não apresentaram mudanças relativas à cor externa das amostras de ameixas avaliadas. É pertinente citar também que a cromaticidade (Chroma) e ângulo hue (H) não se diferenciaram (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Resultados obtidos para o parâmetro de cor exterior

Amostras	L			a*			b*			Chroma			H		
	28° dia	53° dia	81° dia	28° dia	°53 dia	°81 dia	28° dia	°53 dia	°81 dia	28° dia	°53 dia	°81 dia	28° dia	°53 dia	°81 dia
C	27,46 ^b ± 0,40	28,53 ^a ± 0,40	28,92 ^a ± 0,43	3,50 ^a ± 0,40	3,1 ^a ± 0,49	2,61 ^a ± 0,04	0,01 ^a ± 0,14	-0,04 ^a ± 0,29	-0,87 ^a ± 0,12	3,50 ^a ± 0,40	3,50 ^a ± 0,40	3,50 ^a ± 0,40	120,08 ^a ± 205,38	238,53 ^a ± 202,91	341,64 ^a ± 2,78
BA	28,50 ^a ± 0,25	29,27 ^a ± 0,06	28,55 ^a ± 0,30	3,35 ^a ± 0,28	3,08 ^a ± 0,23	2,82 ^a ± 0,37	0,07 ^a ± 0,06	-0,11 ^a ± 0,08	-0,72 ^a ± 0,10	3,35 ^a ± 0,28	3,35 ^a ± 0,28	3,35 ^a ± 0,28	1,19 ^a ± 1,11	357,86 ^a ± 1,48	345,36 ^a ± 4,12
R	28,68 ^a ± 0,25	29,06 ^a ± 0,42	28,99 ^a ± 0,47	3,42 ^a ± 0,28	2,96 ^a ± 0,43	2,50 ^a ± 0,39	-0,01 ^a ± 0,10	-0,04 ^a ± 0,09	-0,40 ^a ± 0,82	3,42 ^a ± 0,28	3,42 ^a ± 0,28	3,42 ^a ± 0,28	239,82 ^a ± 206,14	239,24 ^a ± 206,36	342,51 ^a ± 5,86

Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma linha não apresentam diferença significativa (teste de Tukey, $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a linhas. N=3. Legenda – C: Controle; BA: Base bioplástica ativa e R: Recobrimento amiláceo da fruta.

Para as avaliações de cor do interior da ameixa, observou-se que os parâmetros de L^* , a^* , B^* e Chroma (Tabelas 4.2) não apresentaram diferenças significativas. No que tange esses aspectos em especial, a maioria das avaliações de cor não indica alterações na cor provenientes do uso de Bioplástico e Bioplástico ativo ou Recobrimento.

Tabela 4.2 – Resultados obtidos para o parâmetro cor do interior da ameixa

Amostras	L			a*			b*			Chroma			H		
	28° dia	53° dia	81° dia	28° dia	°53 dia	°81 dia	28° dia	°53 dia	°81 dia	28° dia	°53 dia	°81 dia	28° dia	°53 dia	°81 dia
C	44,40 ^a	41,47 ^a	40,96 ^a	0,43 ^a ±	1,02 ^a ±	2,1 ^a ±	25,89 ^a	21,72 ^a	21,53 ^a	25,89 ^a	21,75 ^a	21,65 ^a	89,03 ^b	87,33 ^a	84,45 ^a
	± 0,57	± 1,00	± 2,12	0,15	0,49	1,04	± 0,37	± 1,04	± 1,76	± 0,36	± 1,05	± 1,79	± 0,35	± 1,23	± 2,63
BA	45,71 ^a	43,86 ^a	43,86 ^a	-0,23 ^b ±	1,89 ^a ±	0,54 ^{ab} ±	26,38 ^a	24,15 ^a	24,33 ^a	26,38 ^a	24,23 ^{ab}	24,34 ^a	90,49 ^a	85,33 ^a	88,72 ^a
	± 1,27	± 3,22	± 0,79	0,18	0,75	0,47	± 1,68	± 3,04	± 0,58	± 1,68	± 2,99	± 0,59	± 0,35	± 2,20	± 1,09
R	46,45 ^a	46,92 ^a	40,89 ^a	0,76 ^a ±	1,38 ^a ±	0,31 ^b ±	27,29 ^a	27,77 ^a	21,64 ^a	27,30 ^a	27,82 ^b	21,64 ^a	88,63 ^b	87,21 ^a	89,13 ^a
	± 1,85	± 1,99	± 2,53	0,09	1,09	0,37	± 1,66	± 2,71	± 2,54	± 1,66	± 2,73	± 2,53	± 0,42	± 2,18	± 1,09

Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma linha não apresentam diferença significativa (teste de Tukey, $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a linhas. N=3. Legenda – C: Controle; BA: Base bioplástica ativa e R: Recobrimento amiláceo da fruta.

Em uma avaliação focada na colorimetria de maçã, pera e ameixa foi estabelecido a conclusão de que a variação de aspectos colorimétricos indicando a deterioração da polpa da fruta pós-processada estão intimamente ligados à temperatura em que o fruto é exposto (Lozano; Ibarz, 1997). O tratamento não propiciou alterações à coloração da polpa, sendo recomendável a manutenção de refrigeração constante em 0°C para a ameixa de maneira conjugada com o tratamento Bioplástico associado com OEM.

A cor interior dos frutos deve se afastar da cor esverdeada e caminhar para cores de polpa características e mais amareladas (Usenik; Stampar; Kastelec, 2014). No tratamento do bioplástico ativo, ao 28º dia o parâmetro a^* apresentou valores tendendo ao negativo (-0,23), se aproximando do espectro da cor verde. A coloração esverdeada remete a frutos em estágio menos avançado de maturação, não havendo esse parâmetro tendendo ao verde no restante do experimento. Tal ocorrência decorre do fato de que ameixas colhidas um pouco antes do ponto de maturação ideal podem ter uma pós-colheita estendida (Łysiak; Walkowiak-Tomczak, 2010).

O ângulo hue (Tabela 4.10) avaliado nas amostras de ameixas, apresentaram valores superiores no tratamento Bioplástico. O valor de hue na angulação aproximada de 90° reflete coloração que vai do amarelo até o verde. Como o ângulo hue reflete um valor mais esverdeado para a ameixa tratada com Bioplástico contendo OEM, pode-se revelar que as ameixas desse tratamento estavam em estágio de maturação menos avançados quando comparadas ao tratamento Controle durante os primeiro 28 dias de armazenamento.

A queda dos valores de hue é reportada na polpa de ameixa processada em função do calor para estudo de ameixa sob influência do armazenamento refrigerado (Lozano; Ibarz, 1997). Sendo essa inferência apresentada no trabalho isolada não recorrente sob os demais dias de armazenamento, havendo influência determinante da manutenção de baixa temperatura. Cita-se que a ameixa, sendo um fruto climatérico, pode atingir níveis aceitáveis de maturidade e tem a sua pós-colheita estendida quando colhida antes de ponto de maturação avançados (Łysiak; Walkowiak-Tomczak, 2010).

4.3.3 Firmeza

A firmeza das ameixas com recobrimento (Tabela 4.3) exibiu alterações significativas durante o primeiro mês de armazenamento. No 28º dia, as ameixas recobertas mostraram os maiores valores de firmeza, enquanto o bioplástico ativo se destacou como intermediário e a amostra controle apresentou os menores valores de firmeza. Esses resultados corroboram com o estudo de Bal (2013), que observou maior firmeza em ameixas das cultivares ‘Stanley’ e ‘Giant’ tratadas com quitosana após 40 dias de armazenamento, em comparação com o controle. Além disso, os achados estão alinhados com os resultados de Fakhra (2014), que destacou que o óleo essencial de manjerição foi eficaz em atenuar a atividade respiratória das ameixas, promovendo maior firmeza dos frutos após 48 dias a 1°C.

Tabela 4.3 – Resultados obtidos de parâmetro firmeza da ameixa

Amostras	Firmeza (N)		
	28º dia	53 dia	81 dia
C	2,03 ^b ± 0,07	1,88 ^a ± 0,04	1,25 ^a ± 0,00
BA	2,20 ^{ab} ± 0,06	1,73 ^a ± 0,37	1,37 ^a ± 0,13
R	2,38 ^a ± 0,13	1,73 ^a ± 0,07	1,27 ^a ± 0,17

Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma linha não apresentam diferença significativa (teste de Tukey, $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a linhas. N=3. Legenda – C: Controle; BA: Base bioplástica ativa e R: Recobrimento amiláceo da fruta.

4.3.4 Teor de Sólidos Solúveis Totais

Os sólidos solúveis totais (Tabela 4.4) apresentaram tendência de aumento durante o experimento, havendo maior acúmulo de açúcares para o tratamento Controle no 28º e 81º dias. A tendência de sólidos solúveis verificada é comercialmente benéfica ao fruto da ameixa (Usenik *et al.*, 2008).

Tabela 4.4 – Resultados obtidos para o parâmetro sólidos solúveis totais da ameixa

Amostras	Sólidos solúveis totais		
	28° dia	53° dia	81° dia
C	27,90 ^a ± 0,26	29,23 ^a ± 0,63	29,43 ^a ± 0,46
BA	27,33 ^b ± 0,25	28,33 ^a ± 0,55	28,60 ^b ± 0,10
R	26,86 ^b ± 0,05	28,23 ^a ± 0,90	28,00 ^b ± 0,26

Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma linha não apresentam diferença significativa (teste de Tukey, $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a linhas. N=3. Legenda – C: Controle; BA: Base bioplástica ativa e R: Recobrimento amiláceo da fruta.

Alterações metabólicas que alterem a caracterização de açúcares podem ser distinguidas ao se analisar os sólidos solúveis, sendo algo verificado na tabela acima. A bibliografia aponta que ameixas ‘Santa Rose’ e ‘Golden Japan’ quando tratadas com 1-Metilciclopropeno (1-MCP) nas quantidades de 0,25; 0,50 e 0,75 $\mu\text{L} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ apresentaram menores valores da relação de Brix/Acidez total titulável quando comparadas ao tratamento Controle, constituído por refrigeração monitorada sob $1 \pm 0,5^\circ\text{C}$ e umidade relativa de 90%, indicando um aspecto natural de sólidos solúveis da fruta (Martínez-Romero *et al.*, 2003).

Assim como o 1-MCP age como um antagonista não-tóxico do fito hormônio do etileno e conecta-se aos receptores de etileno do fruto, alterando o perfil metabólico e freando processos de maturação da fruta (Sisler; Serek; Dupille, 1996), observa-se de algum tipo de inédita interferência na dinâmica de respiração do fruto em virtude dos tratamentos que adicionaram óleo essencial de menta (bioplástico ativo) e recobrimento.

A bibliografia menciona que ameixas da variedade ‘Friar’, ocorre a tendência de relativa estabilidade para valores de sólidos solúveis totais, armazenada sob 5°C em 28 dias (Li *et al.*, 2017), demonstrando congruência com a situação verificada no trabalho. A ameixa japonesa cultivar ‘Angeleno’ pode ter seus valores de sólidos solúveis preservados ao ser armazenada em embalagens vedadas em pallet sob atmosfera modificada (10.0 kPa of O_2 and 5 kPa of CO_2) na temperatura de 1°C e 90% de umidade relativa por 60 dias (Peano *et al.*, 2017).

A ausência de refrigeração é um grande vetor para a redução de açúcares totais. Para as variedades de ameixa “Čačanska Rodna” verificou-se decréscimo de 0,25% nos valores de açúcares totais após armazenamento de 7 dias sob temperatura constante de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ na safra avaliada em 2008 (Popović *et al.*, 2018). Tal

comportamento pode indicar a proeminência da temperatura na manutenção dos níveis de açúcares de ameixa, que entra em consonância com a baixa interferência que os tratamentos aplicados exerceram durante o experimento

4.3.5 Acidez Total Titulável

A acidez total titulável (Tabela 4.5) exibiu de estabilidade sem quaisquer diferenças significativas, exceto no 28° dia, com valor inferior no tratamento de Recobrimento. Frutos de ameixa maduros devem apresentar redução nos valores de acidez, sendo positivo em termos comerciais a queda da acidez durante o armazenamento (Usenik *et al.*, 2008), ainda que tal fator não tenha sido explorado estatisticamente no presente trabalho, observa-se a redução desses valores numericamente.

Tabela 4.5 – Acidez total titulável da ameixa

Amostras	Acidez total titulável em % de ácido málico (mVal/ 100 mL)		
	28° dia	53° dia	81° dia
C	21,83 ^a ± 0,37	19,26 ^a ± 0,65	13,20 ^a ± 0,78
BA	21,93 ^a ± 0,49	18,70 ^a ± 1,70	14,13 ^a ± 1,26
R	20,66 ^b ± 0,35	18,33 ^a ± 0,73	11,63 ^a ± 1,28

Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma linha não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a linhas. N=3. Legenda – C: Controle; BA: Base bioplástica ativa e R: Recobrimento amiláceo da fruta.

Congruentemente, ameixas de variedade ‘Friar’ apresentam tendência de queda de acidez quando armazenadas sob 5°C em 28 dias conforme demonstraram (LI *et al.*, 2017. Enquanto que ameixas da variedade ‘Queen Garnet’ sob 23°C em 14 dias tiveram seus valores de ácidos reduzidos ao longo da pós-colheita (Kodagoda *et al.*, 2021). Tal cenário indica gradual processo de metabolização dos ácidos orgânicos da ameixa após a colheita, com estes reduzindo na medida que se estende o armazenamento.

4.3.6 Caracterização de Açúcares

Os açúcares foram analisados de maneira qualitativa e quantitativa dos açúcares da sacarose, glicose, frutose e sorbitol (Tabela 4.6). Os valores de sacarose descritos mostram estabilidade durante os três pontos de análise, havendo congruência com a característica intrínseca das espécies de ameixas comuns no mercado (*Prunus domestica* L. e *Prunus salicina* Lindl.), as quais sempre apresentam quantidades relevantes dos quatro açúcares estudados, diferindo para cada variedade o açúcar dominante (Roussos *et al.*, 2015).

Reporta-se que o fruto da ameixa cessa a produção de açúcares assim que é extraído da ameixeira, sua fonte de carbono (Louw; Theron, 2012). Entende-se, portanto, que a prática de armazenagem e seus respectivos tratamentos não ofereceram grandes desvantagens, inalterado para as mensurações de glicose após 81 dias de armazenamento, havendo relativa estabilidade para os diferentes tipos de açúcares. Entretanto, mudanças foram percebidas no monitoramento de frutose e sorbitol.

No que tange as transformações em frutose, as vias metabólicas das plantas da família das *Rosaceae* apontam que o sorbitol pode ser convertido em frutose por meio da enzima SDH que isso dizer (Suzuki, 2015). Tal fenômeno bioquímico que se relaciona com a mesma via sintetizadora de sorbitol pode indicar que o pico de frutose no 53º dia para o tratamento Controle pode potencializar a ação da enzima SDH.

A quantidade de sorbitol em específico tende a se correlacionar positivamente com a variável de temperatura para o fruto da ameixa (Dugalic *et al.*, 2014), a qual foi a mesma para todos os tratamentos. Os valores mais altos de sorbitol para o tratamento Controle durante o 53º e 81º dias podem indicar que os tratamentos de Recobrimento e de Bioplástico geraram interferência na formação de sorbitol. A frutose no 53º dia exibiu diferenciação estatística, onde o tratamento Controle mostrou o maior valor.

Questões metabólicas ter forte correlação com a acumulação de sorbitol. Em revisão de literatura especializada na dinâmica do sorbitol acumulado em frutos, estabelece-se que para frutas da família das rosáceas, como a maçã e pera, estabelece-se fortes indicativos que a enzima S6PDH atua como protagonista na

biossíntese de sorbitol em condições de estresse abiótico na planta, como o estresse hídrico (Suzuki, 2015).

Cita-se que práticas de campo da fruticultura, como o anelamento de troncos, podem afetar a ação da enzima SDH, podendo reduzir a concentração de sorbitol nos frutos da maçã (Beruter; Feusi, 1997), sendo até recomendadas para fruteiras de caroço como a ameixa, a prática para melhorar a qualidade do fruto (Sartori; Ilha, 2005). A observância de que tratamentos como o bioplástico ativo e recobrimento possivelmente afetam as via metabólicas e enzimáticas não possuem antecedentes na bibliografia. Além disso, constata-se que frutose, glicose e sorbitol são correlacionados positivamente entre si, o que explica valores sem grandes variações na maior parte dos tratamentos (Dugalic *et al.*, 2014).

Tabela 4.6 – Açúcares da ameixa

Amostras	Sacarose (g/100 ml)			Glicose (g/100 ml)			Frutose (g/100 ml)			Sorbitol (g/100 ml)		
	28° dia	53° dia	81° dia	28° dia	53° dia	81° dia	28° dia	53° dia	81° dia	28° dia	53° dia	81° dia
C	7,74 ^a ±	7,61 ^a ±	8,01 ^a ±	7,11 ^a ±	7,57 ^a ±	7,21 ^a ±	3,57 ^a ±	3,93 ^a ±	4,10 ^a ±	8,80 ^a ±	9,31 ^a ±	9,93 ^a ±
	0,37	0,47	0,17	0,05	0,12	0,21	0,11	0,09	0,05	0,11	0,17 ^x	0,12
BA	7,06 ^{ab} ±	7,79 ^a ±	7,40 ^{ab} ±	7,19 ^a ±	7,05 ^a ±	7,19 ^a ±	3,67 ^a ±	3,56 ^b ±	3,97 ^a ±	8,91 ^a ±	8,55 ^b ±	9,27 ^b ±
	0,20	0,48	0,25	0,17	0,29	0,52	0,07	0,16	0,17	0,09	0,21	0,29
R	7,00 ^b ±	7,41 ^a ±	7,11 ^b ±	7,00 ^a ±	7,23 ^a ±	6,30 ^a ±	3,50 ^a ±	3,74 ^{ab} ±	3,83 ^a ±	8,71 ^a ±	8,82 ^{ab} ±	8,85 ^b ±
	0,25	0,39	0,48	0,18	0,27	0,68	0,09	0,07	0,37	0,14	0,36	0,03

Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra e na mesma linha não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a linhas. N=3. Legenda – C: Controle; BA: Base bioplástica ativa e R: Recobrimento amiláceo da fruta.

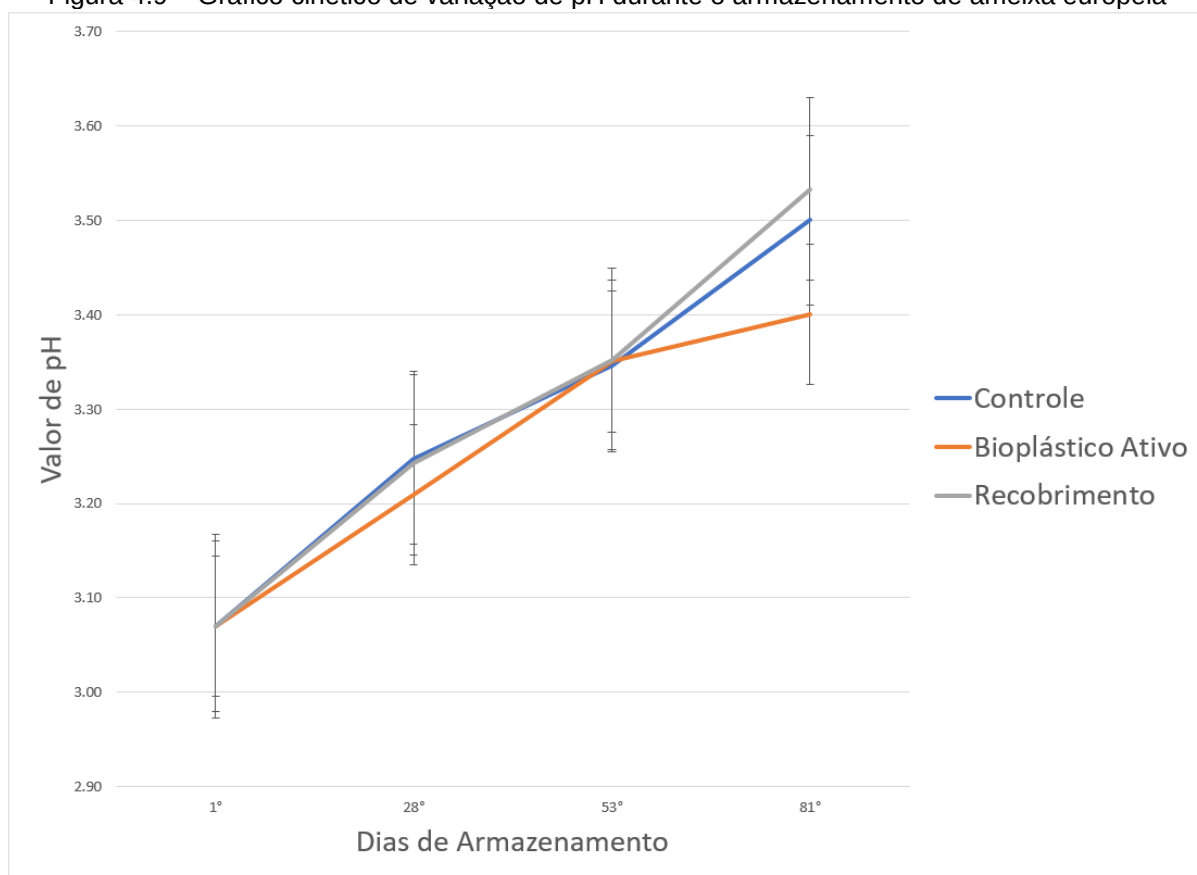
4.3.7 pH

As avaliações de pH (Figura 4.9) não apresentam variações significativas relevantes entre os tratamentos, com valores crescentes conforme o armazenamento da fruta. Se é reportado que a variedade de ameixa ‘Friar’ armazenada sob 5°C apresentou variação crescente de pH de maneira significativa em apenas 28 dias (Li *et al.*, 2017).

Essa relação existente, onde o maior pH correlacionou-se com um menor valor de acidez titulável é recorrente em estudos bibliográfico pertinentes a ameixa, revelando sua natureza climatérica, tal como se como comparar com estudo conduzido com a cultivar “Amarelinha”, onde nota-se aumento de pH acompanhado pela redução de acidez quando comparado os valores da colheita com a ameixa madura, meio-madura e verde após 30 dias de armazenamento em 0°C (Margarim *et al.*, 2005).

Para ameixa recoberta com glicerina, *aloe vera*, óleo de amêndoa e óleo de castor armazenadas em 8°C por 28 dias, observou-se ao final do experimento aumento no pH, decréscimo na acidez titulável e diminuição na quantidade de ácido ascórbico para todos os tratamentos (Shah *et al.*, 2020).

Figura 4.9 – Gráfico cinético de variação de pH durante o armazenamento de ameixa europeia



Legenda: Controle (Azul) – Tratamento Controle; Bioplástico ativo (Laranja) – Tratamento de recobrimento; Recobrimento (Cinza) – Tratamento de veículo bioplástico com ingrediente ativo de óleo essencial. Fonte: Autor.

4.3.8 Qualidade Visual

As porcentagens a quantidade de ameixas do montante que apresentaram murchamento superficial, além da distribuição de ameixas em cada escore, tal como se é preconizado na avaliação (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 – Avaliação de qualidade visual com gradiente de cor

		Repetição	Escore do interior da fruta			Murchamento
			0	1	2	
Controle	28° dia	1	100%	0%	0%	50%
Controle	28° dia	2	100%	0%	0%	40%
Controle	28° dia	3	100%	0%	0%	30%
Bioplástico ativo	28° dia	1	100%	0%	0%	0%
Bioplástico ativo	28° dia	2	100%	0%	0%	0%
Bioplástico ativo	28° dia	3	100%	0%	0%	10%
Recobrimento	28° dia	1	100%	0%	0%	20%
Recobrimento	28° dia	2	100%	0%	0%	0%
Recobrimento	28° dia	3	100%	0%	0%	20%
Controle	53° dia	1	0%	90%	10%	10%
Controle	53° dia	2	20%	80%	0%	10%
Controle	53° dia	3	0%	90%	10%	20%
Bioplástico ativo	53° dia	1	10%	90%	0%	0%
Bioplástico ativo	53° dia	2	10%	60%	30%	0%
Bioplástico ativo	53° dia	3	20%	60%	20%	0%
Recobrimento	53° dia	1	20%	80%	0%	0%
Recobrimento	53° dia	2	40%	40%	20%	0%
Recobrimento	53° dia	3	10%	70%	20%	0%
Controle	81° dia	1	0%	70%	30%	40%
Controle	81° dia	2	0%	50%	50%	10%
Controle	81° dia	3	0%	100%	0%	30%
Bioplástico ativo	81° dia	1	0%	60%	40%	10%
Bioplástico ativo	81° dia	2	10%	90%	0%	0%
Bioplástico ativo	81° dia	3	0%	100%	0%	10%
Recobrimento	81° dia	1	10%	50%	40%	20%
Recobrimento	81° dia	2	20%	50%	30%	0%
Recobrimento	81° dia	3	0%	90%	10%	0%

Legenda - Tons mais fortes de roxo representam maiores porcentagens de ameixa em uma determinada categoria. A coluna repetição indica cada caixa do lote de cada tratamento que integram uma repetição, onde todas as ameixas da caixa são analisadas.

As porcentagens que representam a quantidade de ameixas do montante que apresentaram murchamento superficial além da distribuição de ameixas em cada escore, tal como se é preconizado na avaliação subjetiva de qualidade demonstraram maior enrugamento no grupo Controle (variando de 30 a 50% de murchamento) frente aos tratamentos com Bioplástico Ativo (10%) e Recobrimento com amido de mandioca (20%) ao 28° dia. Tal condição foi observada ao 81° dia, onde as repetições do Controle atingiram os maiores murchamentos (de 10 a 40%).

Murchamento é relacionado à perda de água do fruto e, consequentemente a perda de água da fruta. Não houveram tendência diferenciáveis ou que chamassem

atenção quanto ao nível de podridão ou para o escore do interior da fruta fatiada. Em ambos os casos a ocorrência de podridão e a verificação de frutas com escore pior (com polpa indo direção à nota 2), foi verificada em todos os tratamentos de maneira crescente, sendo possivelmente correlacionadas com o armazenamento da fruta.

O murchamento da fruta de ameixa é descrito como ocorrência relacionada com as diferenças de potencial hídrico do fruto com o ambiente em que ele se encontra, havendo a necessidade do último ser inferior ao primeiro de modo que gere uma diferença de potencial capaz de remover a umidade contida no fruto, deixando-o com aspecto enrugado. Pode se conjecturar que o óleo essencial de menta exerceu uma influência metabólica ou de equilíbrio entre os potenciais, fato verificado para ameixa da mata armazenada sob refrigeração e embalada em filme PVC (Cristina Radaelli *et al.*, 2018).

Recobrimentos amiláceos constam na literatura como passíveis de influenciar na troca de vapor d'água da ameixa com o ambiente. (Basiak *et al.*, 2019) relatam que a aplicação de recobrimento em três camadas de amido de trigo (100%) com glicerol adicionado em proporção de 50% em base da matéria seca incrementaram a resistência ao movimento do vapor de água do fruto ao ambiente, sendo este apenas ligeiramente inferior ao recobrimento que associa amido de trigo com *whey protein* (80/20%).

Admitindo-se que a perda de massa em frutas advém primariamente da perda de água, conforme Basiak *et al.* (2019), pode-se admitir, portanto, que a redução do murchamento que é ocasionado pela perda de água do fruto com o ambiente pode estar diretamente relacionado com a mitigação das perdas por transpiração, sendo visualmente verificável no tratamento recoberto.

O efeito verificado demonstra resultado positivo frente a utilização de óleo essencial sob o armazenamento de frutas. A associação dos óleos essenciais de alecrim e eucalipto para a sanitização do hortifrúti de tomate não conseguiu surtir efeito positivo significativo para a perda de massa e respiração da fruta. Não foi significativo ou inferior os atributos de perda de massa e respiração durante o armazenamento, quando comparada às diferentes formulações de tratamento empregadas, onde a metodologia de aplicação incluiu a imersão ou o uso de vapor (Xylia *et al.*, 2021).

Em contrapartida, no armazenamento de morango sob recobrimento contendo o óleo essencial de *Aloysia citrodora* (250 ppm, 500 ppm e 750 ppm) exerceu influência na redução de acidez e perda de massa durante os 28 dias de armazenamento (Shirzad *et al.*, 2021). O óleo essencial de limão associado com quitosana, cloreto de cálcio e natamicina aplicado em recobrimento de citrus também agregou na redução de perda de massa da fruta testada (Zhang, Weiqing *et al.*, 2022). Já para os tratamentos com a aplicação dos óleos essenciais de alho e alecrim em contato ou por vaporização demonstraram valores não diferenciáveis após oito dias de armazenagem (Hosseini *et al.*, 2020).

Analisando o quesito dos escores obtidos, houve plena ocorrência do escore 0 no 28º dia (sendo esse o escore ideal para a ameixa colhida) passando a ocorrer a dominância do escore 1, como maioria da distribuição de ameixas ao 53º dia, encerrando no 81º dia com os escores 1 e 2 dividindo as porcentagens de fruta. A senescência durante o armazenamento de fruta madura agrega em escurecimento e amolecimento da polpa de frutas maduras após a colheita (Kochhar; Gujral, 2020).

Em estudo que avaliou diferentes variedades de ameixas por 4 semanas em 0°C, ocorreu escurecimento de polpa nas cultivares armazenadas no ponto ideal de maturação, variando a porcentagem de polpa escura em até 25%. O estudo demonstra que as ameixas colhidas antes do ponto de maturação ideal sofrem menos com o escurecimento (Łysiak; Walkowiak-Tomczak, 2010).

As ameixas empregadas no trabalho foram colhidas antes do ponto ideal de maturação, tornando-as capazes de suportar o armazenamento em câmara fria em condições comerciais plenamente por aproximadamente 4 semanas (28 dias). Os níveis 1 e 2 indicam polpa escurecida e não desejável para consumo. O escurecimento de polpa de ameixa é visualizado na literatura como uma ocorrência esperável em armazenamento longos de ameixa, que se estendem por mais de 30 dias (Steffens *et al.*, 2017). As causas do escurecimento de polpa em polpa em espécies de ameixa são descritas como causadas pela oxidação de compostos fenólicos em estudo de ameixas da variedade “Nane” (Peng *et al.*, 2024). Esse processo de oxidação é condicionado por determinantes naturais inerentes a fruta, tais como as enzimas polifenol oxidase e de oxidase (Jiang *et al.*, 2015).

Em 40 dias, com armazenamento refrigerado a 1,5°C, a incidência de escurecimento de polpa em ameixas do tipo “Laetitia” chegou a 37,8% (Melo *et al.*,

2021) sendo portanto, uma condição que encontra paralelos bibliográficos. Percebe-se que em 53 dias, o tratamento com maiores percentagens na nota 0 de escurecimento foram as do tratamento Recobrimento. Ao 81º dia, o Controle demonstrou-se sendo o único que não apresentou nenhuma porcentagem de ameixa com nota 0, havendo porcentagens baixas, mas existentes para os demais tratamentos (com estes variando entre 10% e 20%).

4.4 CONCLUSÕES

O tratamento Bioplástico como veículo para uso de ingrediente ativo de óleo essencial de menta não demonstrou resistência ao aparecimento de fungos no período da avaliação experimental. Tal indício revela que o uso de bases bioplásticas para funções similares na preservação de frutas na pós-colheita deve ser restrito em uma janela de tempo inferior a 50 dias, ou com a formulação bioplástica contendo ingredientes antifúngicos.

Os valores de luminosidade externa foram inferiores no 28º dia, demonstrando uma aparência mais opaca e menos associada com frutos maduros comerciais. Um menor indício da maturidade da fruta foi perceptível ao 28º dia no tratamento Bioplástico, havendo valores de a^* tendendo ao negativo (mais próximos ao espectro da cor verde) e o ângulo hue sendo superior aos valores de 90º, tendendo ao hue de valor verde. Tal caráter demonstra que o Bioplástico contendo OEM pode ter influenciado no processo de maturação da fruta climatérica.

Os valores de firmeza mostraram-se maiores para o tratamento de Recobrimento, havendo significância intermediária para o tratamento Bioplástico Ativo. Houve a manutenção dos valores de sólidos totais solúveis em todos os tratamentos discriminados, contudo visualiza-se uma possível interferência no 28º e 81º dia para os tratamentos Bioplástico e Recobrimento.

A avaliação qualitativa dos açúcares mostra que houve a manutenção dos teores de todos os tipos açúcares, exceto para o sorbitol, onde ocorreu maior acúmulo no tratamento Controle ao 59º e 81º dia.

Verificou-se menor acidez total titulável no 28º dia para o tratamento de Recobrimento. Ainda assim, o gráfico cinético de pH apresentou valor superior para o tratamento com óleo essencial (Bioplástico). A avaliação visual indicou influência

positiva dos tratamentos de Recobrimento e Bioplástico aplicados frente à ocorrência de murchamento. O fato demonstrado é de utilidade uma vez que o aspecto visual é fator determinante na comercialização de frutas.

O uso de novas substâncias antifúngicas pode colaborar para a inibição dos contaminantes fúngicos passíveis de aparecimento durante uso do veículo de ingrediente ativo. Recomenda-se que quaisquer alterações em estudos posteriores priorize o uso de materiais biologicamente seguros e sustentáveis. Secagens mais intensas após a prensagem e o uso do material bioplástico desenvolvido por um período inferior de tempo aparentam ser o procedimento adequando considerando a formulação atual sistematizada.

CAPÍTULO 5 - ACONDICIONAMENTO DE AMORA-PRETA EM EMBALAGEM BIODEGRADÁVEL A BASE DE AMIDO E BAGAÇO DE MALTE

Resumo

Termoplásticos de amido de mandioca foram combinado com diferentes porcentagens de bagaço de malte (BM) (0%, 9%, 18% e 27%) e aplicados como bandejas biodegradáveis para amoras-pretas sob refrigeração comercial. As análises de qualidade da fruta durante o armazenamento por 19 dias não apresentaram diferença significativa nos valores de compressão, cor (parâmetros L e b*), umidade e pH. As tendências crescentes nos valores L e a* evidenciaram a ocorrência do fenômeno de reversão de drupeletas para o vermelho (RDV). Os índices de vazamentos das frutas foram de 66% (18% de BM) a 50% (9% e 27% de BM) menores quando comparados ao Controle (0% de BM). A podridão de frutos foi reduzida em 50% pela embalagem contendo 27% de BM frente ao Controle. Perdas de massa demonstraram ser 3% maiores para embalagens plásticas convencionais. Bandejas com BM auxiliam na conservação de massa da amora além de serem compostáveis.

Palavras-chave: *Morus nigra* L.; pequenos frutos; embalagens biobaseadas.

Abstract

Thermoplastics containing cassava starch were combined with different percentages of malt bagasse (BM) (0%, 9%, 18% and 27%) and were used as biodegradable trays for blackberries under commercial refrigeration. Fruit quality analyses during storage for 19 days showed no significant differences in compression, color (parameters L and b*), moisture and pH. It was possible to infer that the increasing trends in L and a* values evidenced the occurrence of the phenomenon of drupelets reversion to red (RDV). Fruit leakage rates were 66% (18% BM) to 50% (9% and 27% BM) lower when compared to the bioplastic without BM (Control). Fruit rot was reduced by 50% by the packaging containing 27% BM compared to the Control. Mass losses were at least 3% higher for conventional plastic packaging. The composite with BM has advantages for conserving the mass of the blackberry in addition of being easily compostable

Keywords: *Morus nigra* L.; small fruits; biobased packaging.

5.1 INTRODUÇÃO

Tal como a maioria das frutas, amoras são alimentos perecíveis com alta quantidade de água, portanto a inibição dos processos de degradação desse alimento necessita de práticas específicas na pós-colheita capazes de manter a qualidade do alimento e manter o valor nutricional para consumo. Dentre as categorias de novas tecnologias tem-se a aplicação de embalagens.

Existem muitos problemas relacionados ao acúmulo de lixo plástico, e nesse sentido, o uso de polímeros biodegradáveis pode ser positivo para o meio ambiente, como aqueles derivados do amido. Ao mesmo tempo, o emprego de subprodutos industriais como compósito associados a bioplásticos podem gerar efeitos benéficos nas propriedades físicas do material. O uso destes pode incorrer em economia nas demais matérias-primas aplicadas na manufatura de bioplástico e valorização dos subprodutos da indústria.

O fenômeno de reversão para o vermelho é uma questão particular a amora madura, que pode apresentar essa mudança durante o período de pós-colheita (Edgley; Close; Measham, 2020). Outro fator relevante comprovável na bibliografia é a de que os antioxidantes não aumentam conforme prossegue o armazenamento de amora (Perkins-Veazie; Kalt, 2002) sendo importante preservar a integridade do alimento a fim do mesmo manter tais atributos.

Assim, o presente capítulo trata da avaliação do comportamento de amoras-preta embaladas em diferentes embalagens biodegradáveis. Parâmetros físico-químicos dos frutos foram avaliados durante o período de vida útil dos frutos com o intuito de se avaliar as implicações dos diferentes tipos de embalagens aplicadas para amoras.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Materiais

A amora-preta utilizada no estudo foi da variedade Tupi. Foram recebidas um dia após a colheita obtida de cultivo em jardim localizado no perímetro urbano da cidade de Ponta Grossa (Paraná, Brasil), e foi resfriado sob refrigeração comercial de

$5,5 \pm 1,5$ °C em média. Adotou-se como ponto de colheita da amora-preta quando a coloração da casca atinge a cor totalmente preta (Anese; Fronza, 2015). A manufatura e manuseio das bandejas bioplásticas fabricadas com base em amido de mandioca associado com bagaço de malte seco seguiu a formulação proposta no Capítulo 2 (Quadro 5.1).

Quadro 5.1 – Proporções utilizadas para as embalagens biodegradáveis

Sigla	Água (ml)	Amido (g.100g⁻¹)	Bagaço de malte (g.100g⁻¹)	Glicerol (g.100g⁻¹)
T1AmP	100	91	0	9
T2AmP	100	82	9	9
T3AmP	100	73	18	9
T4AmP	100	64	27	9

Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

5.2.2 Acondicionamento das Amostras

A manufatura das bandejas biodegradáveis utilizadas ocorreram. As bandejas foram elaboradas em dia anterior ao da recepção das frutas, sendo embaladas e distribuídas 6 frutas individuais de amora por embalagem. As amoras minimamente processadas foram posicionadas sobre as bandejas, separadas em embalagens distintas classificadas em diferentes tratamentos e envoltas em filme plástico de PVC (Figura 5.1). Após isso, o conjunto de alimento e embalagem foi condicionado em equipamento refrigerador (Prosdócimo, Curitiba, Brasil). As alterações visuais e físico-químicas foram avaliadas até o momento em que verificasse inviável para o consumo.

Figura 5.1 – Embalagens contendo amora



Fonte: Autor. Da direita para esquerda, embalagens na codificadas como T1AmP (0% de BM), T2AmP (9% de BM), T3AmP (18% de BM) e T4AmP (27% de BM).

5.2.3 Análises Físico-químicas e Subjetivas dos Frutos Embalados

Se dividiram entre análises físico-químicas bem como subjetivas a fim de acompanhar a evolução do aspecto dos frutos no armazenamento. Foi padronizado a vistoria de um mesmo avaliador, para evitar quaisquer problemas pertinentes ao critério de subjetividade.

5.2.3.1 Firmeza

Os testes de compressão foram executados em texturômetro TA.TX Plus (Stable Micro System, Itatiba, São Paulo) empregando uma amora na base do aparelho fazendo uso de *probe* de base lisa (90 mm) e permitindo compressão com deformação de 400 mm/min, com 5 amoras por tratamento durante cada ponto de análise. O protocolo foi adaptado da metodologia de Canet et al. (2007).

5.2.3.2 Cor

Os parâmetros pertinentes a cor avaliados foram: L (luminosidade que vai do preto (0) até o branco (100)); a* (matiz de cromaticidade que vai do verde ao vermelho) e b* (matiz de cromaticidade do azul até o amarelo) (Ferreira; Spricigo, 2017), adaptando metodologia original para abóbora (Kalluf, 2006). A visualização de cores ocorreu sob determinação em iluminante D₆₅ (luz do dia) e ângulo visual de 10°, havendo avaliações em triplicata (Vieira, 2011). O aparelho empregado para as avaliações foi o colorímetro portátil (BYK Gardner, New York, EUA), sendo avaliadas cinco amoras por tratamento sobrepostas em fundo branco.

5.2.3.3 Sólidos solúveis totais

A metodologia foi adaptada de (Sanchez, 2020), onde foram obtidos 10 mL de suco de fruta puro proveniente das amoras, sendo gotejadas três gotas no leitor do refratômetro (Modelo Abbe, Marca RTA-100), com três leituras executadas para cada tratamento avaliado durante os pontos de análise.

5.2.3.4 Umidade

Foi utilizada metodologia aplicável para hortifrúti (Instituto Adolfo Lutz, 2008-), havendo a trituração da amora em gral com pistilo de porcelana em pequenos pedaços (totalizando 5 g) e pesados em balança gravimétrica, com secagem em estufa de 105 °C. A avaliação do teor de umidade foi efetuada em duplicata para todos os tratamentos em três pontos de análise espaçados durante o período de armazenagem. O cálculo da porcentagem foi estabelecido mediante diferença de massa entre amostras secas e úmidas.

5.2.3.5 Acidez total titulável

A acidez foi determinada em metodologia de titulação ácido-base mediante uso de solução alcalina NaOH 0,1 M, com os resultados expressos da acidez titulável pela massa equivalente de ácido cítrico (porcentagem de ácido cítrico por 100 g de material

fresco). Para a execução da análise, foram pesados 5 g de fruta por tratamento em balança gravimétrica, com essa massa macerada e homogeneizada.

Essa massa foi adicionada em 50 mL de água destilada, além de 5 gotas de fenolftaleína e seguiu para a titulação com NaOH 0,1 M até que ocorra o ponto de viragem (alteração da cor na amostra). Após isso, o valor utilizado para se chegar ao ponto de viragem registrado e utilizado no cálculo da acidez (Ávila *et al.*, 2020). O valor numérico do fator de correção para ácido cítrico é de 0,064 (Sadler; Murphy, 2010).

5.2.3.6 Reversão da drupa para o vermelho

Avaliando individualmente cada fruta da embalagem, a presença de três ou mais pequenas drupas avermelhadas brilhantes sem vazamentos contabiliza como positiva em uma unidade para a presença do fenômeno da reversão para o vermelho por fruto. A percentagem de drupas vermelhas foi dada pela razão de frutas com essa característica dividida pelo número total de frutas na embalagem (que totalizaram 6). Por ser uma análise subjetiva, se utilizou o mesmo avaliador com o intuito de evitar variações de julgamento por indivíduos distintos (Kim *et al.*, 2015).

5.2.3.7 Amolecimento

Cada fruta da embalagem foi avaliada individualmente para verificar o nível de amolecimento mediante a utilização de escala subjetiva graduada de 1 a 5 pontos. Referente às notas aferidas, 1 é a fruta muito firme, 2 é comercializável, 3 é marginalmente comercializável, 4 é desintegração e 5 alto nível de desintegração. A percentagem de amolecimento foi obtida mediante a razão entre a soma de unidades de fruto que obtiveram notas maiores que 5 e o número total de frutas na embalagem. Por ser uma análise subjetiva foi utilizado o mesmo avaliador com o intuito de evitar variações de julgamento por indivíduos distintos (Kim *et al.*, 2015).

5.2.3.8 Vazamento

Avaliando individualmente cada fruta da embalagem, a presença de fruta apresentando líquido vazado do interior da drupa contabiliza como sendo positiva em uma unidade. A percentagem de frutas apresentando vazamento foi dado pela razão de frutas com essa característica dividida pelo número total de frutas na embalagem. Por ser uma análise subjetiva foi utilizado o mesmo avaliador com o intuito de evitar variações de julgamento por indivíduos distintos (Kim et al., 2015).

5.2.3.9 Apodrecimento

Avaliando individualmente cada fruta da embalagem, a presença de fruta apresentando aspectos visíveis da incidência de podridão na drupa contabilizou como sendo positiva em uma unidade a presença de podridão por fruto. A percentagem de frutas apresentando podridão foi dada pela razão de frutas com essa característica dividida pelo número total de frutas na embalagem. Por ser uma análise subjetiva, foi utilizado o mesmo avaliador com o intuito de evitar variações de julgamento por indivíduos distintos (Kim et al., 2015).

5.2.3.10 Perda de massa

Para cada tratamento distinto, uma unidade das frutas embalada foi segregada, tendo sua massa medida em balança gravimétrica periodicamente. O resultado foi expresso em gráfico cinético, em porcentagem (%) de massa perdida pelo tempo de armazenagem (Kim *et al.*, 2015). Com o objetivo de avaliar o desempenho dos materiais biodegradáveis frente ao padrão atual de embalagens sintéticas, a perda de massa foi avaliada para frutas armazenadas em bandejas de poliestireno expandido (Isopor®).

5.2.3.11 pH

A verificação de potencial hidrogeniônico (pH) do produto foi obtida mediante o uso de pHmetro modelo Labmeter PHS-3B (Phtek). Foram empregadas 5 g de amora

macerada e homogeneizada, diluída em solução de 50 mL contendo as amostras dos tratamentos. A leitura realizada foi realizada em triplicata, com a metodologia adaptada do Instituto Adolfo Lutz (2008).

5.2.4 Análise Estatística

Os resultados computados foram trabalhados mediante o uso análise de variância (ANOVA) seguido do teste de hipóteses do tipo Tukey (5% de significância) para avaliar a diferença estatística entre as comparações múltiplas de médias obtidas nos tratamentos utilizados (Banzatto; Kronka, 2006). O programa utilizado para o cálculo de médias e plotagem de gráficos foi o Statistica (TIBCO, EUA). Todos os resultados, sejam qualitativos ou quantitativos, foram tabulados por meio do programa Word do pacote Office (Microsoft, EUA)

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As embalagens demonstraram boa qualidade após a moldagem, secagem e corte. O corte das embalagens deve ser executado logo após a remoção da prensa, uma vez que após a secagem exibem aspecto muito endurecido, desfavorecendo quaisquer corte mas apresentando firmeza importante para o seu uso. As embalagens foram utilizadas para o acondicionamento dos frutos de amora-preta, sendo os resultados dos parâmetros físico-químicos dos frutos avaliados durante 19 dias.

5.3.1 Firmeza

Os resultados observados para a compressão dos frutos são apresentados na Tabela 5.1, e não verificou-se diferenças significativas entre si, indicando que o uso de bagaço de malte nas formulações não influenciou os índices de firmeza das frutas (Tabela 5.1). Esse parâmetro da amora demonstra estabilidade em condições de refrigeração, tanto em atmosfera passiva como modificada (Soethe *et al.*, 2019). A estabilidade relativa dos valores de firmeza no decorrer pode ser atribuída ao prolongamento do armazenamento, onde a umidade é reduzida.

Tabela 5.1 – Firmeza dos frutos (N) de amora embalados

Amostras	Firmeza (N)					
	3° dia	6° dia	9° dia	12° dia	16° dia	19° dia
T1AmP	974,39 ^a ± 415,61	906,78 ^a ± 308,90	818,96 ^a ± 353,60	982,76 ^a ± 241,20	1321,22 ^a ± 291,76	1088,75 ^a ± 2680,15
T2AmP	1011,42 ^a ± 365,95	936,70 ^a ± 219,50	975,67 ^a ± 552,58	1107,38 ^a ± 381,08	1383,61 ^a ± 385,47	1369,83 ^a ± 729,65
T3AmP	1079,39 ^a ± 286,40	1096,13 ^a ± 341,46	979,24 ^a ± 136,18	1231,62 ^a ± 447,14	1416,29 ^a ± 248,85	1733,10 ^a ± 339,79
T4AmP	1419,31 ^a ± 448,55	1133,44 ^a ± 274,03	1234,47 ^a ± 187,68	1807,80 ^a ± 742,14	1434,57 ^a ± 484,94	3122,26 ^a ± 216,30

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0,05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

5.3.2 Cor

O parâmetro Luminosidade (L^*) é apresentado na Tabela 5.2. Para a amostra T4AmP (com maior teor de BM) houve um aumento significativo nos valores de L^* entre o 9° e 12° dia de armazenamento, indicando embranquecimento dos frutos em comparação com os demais tratamentos. A cor escura é desejável para os frutos da amora e é a tendência observável durante o armazenamento dessa fruta específica (Acuña; Vargas; Vergara, 2016), sendo uma variação atípica. Tal efeito pode ser um possível início do efeito de reversão de drupeletas para o vermelho, que podem assumir um clareamento da cor escura brilhante característica durante o armazenamento (Edgley; Close; Measham, 2020).

O parâmetro a^* , quando positivo e em ascensão, denota a tendência de matiz a se aproximar da cor vermelha. Na Tabela 5.3 são apresentados os resultados do parâmetro a^* para as amoras embaladas e observa-se diferença estatística entre as amostras T2AmP ao 3° dia e 9° dia, T4AmP ao 12° dia e 16° dia e T1AmP ao 19° dia. De maneira geral, houve flutuações durante as avaliações do a^* e houve uma tendência de aumento para o vermelho, mais uma vez reiterando o fenômeno de reversão para o vermelho das drupeletas (Edgley; Close; Measham, 2020). Da mesma forma que foi observado para o parâmetro L^* , a amostra T4AmP apresentou o recrudescimento da matiz vermelha no 12° dia, com a diminuição da luminosidade e aumento do a^* .

O parâmetro b^* revela uma tendência ao amarelo quando crescente e positivo, enquanto valores negativos em decréscimo mostram uma tendência à cor azul. De maneira geral, dados deste parâmetro apresentados na Tabela 5.4 não apresentaram variações significativas, salvo no 9° dia onde T2AmP atinge o maior valor dentre todas as avaliações.

Tabela 5.2 – Parâmetro L das amostras de amora embaladas

Amostras	Parâmetro L					
	3° dia	6° dia	9° dia	12° dia	16° dia	19° dia
T1AmP	12,10 ^a ± 12,48	10,96 ^a ± 21,99	13,35 ^b ± 22,31	11,79 ^b ± 5,23	12,22 ^a ± 0,06	13,71 ^a ± 0,23
T2AmP	13,84 ^a ± 0,88	14,65 ^a ± 8,38	14,50 ^{ab} ± 0,21	11,83 ^b ± 0,03	12,54 ^a ± 8,50	14,00 ^a ± 0,03
T3AmP	14,36 ^a ± 5,70	14,87 ^a ± 0,12	15,94 ^{ab} ± 0,24	12,53 ^b ± 0,22	13,71 ^a ± 10,04	17,82 ^a ± 14,69
T4AmP	17,09 ^a ± 1,54	15,24 ^a ± 5,83	20,11 ^a ± 3,69	16,51 ^a ± 2,96	14,71 ^a ± 3,43	18,28 ^a ± 3,53

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0,05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

Tabela 5.3 – Parâmetro a* das amostras de amora

Amostras	Parâmetro a*					
	3° dia	6° dia	9° dia	12° dia	16° dia	19° dia
T1AmP	0,95 ^b ± 0,49	3,68 ^a ± 15,27	1,00 ^b ± 0,28	1,11 ^c ± 0,10	3,30 ^{bc} ± 0,01	5,93 ^a ± 0,10
T2AmP	2,41 ^a ± 0,11	0,46 ^a ± 0,76	2,87 ^a ± 0,23	2,63 ^b ± 0,05	5,43 ^{ab} ± 2,38	2,55 ^b ± 0,23
T3AmP	0,88 ^b ± 0,12	1,77 ^a ± 0,09	1,57 ^b ± 0,00	3,28 ^b ± 0,41	2,80 ^c ± 0,16	3,32 ^{ab} ± 1,60
T4AmP	1,09 ^b ± 0,05	0,60 ^a ± 0,11	1,64 ^{ab} ± 0,38	4,63 ^a ± 0,07	5,93 ^a ± 0,06	4,3 ^{ab} ± 2,97

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0,05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

Tabela 5.4 –Parâmetro b* das amostras de amora

Amostras	Parâmetro b*					
	3° dia	6° dia	9° dia	12° dia	16° dia	19° dia
T1AmP	1,16 ^a ± 1,42	0,86 ^a ± 0,04	0,01 ^b ± 0,00	0,06 ^a ± 0,13	0,43 ^a ± 0,03	1,04 ^a ± 0,00
T2AmP	1,33 ^a ± 0,11	1,23 ^a ± 1,81	0,59 ^a ± 0,05	-0,12 ^a ± 0,04	2,01 ^a ± 2,32	0,01 ^a ± 0,11
T3AmP	0,55 ^a ± 0,01	1,22 ^a ± 0,23	0,39 ^{ab} ± 0,00	0,01 ^a ± 0,04	1,19 ^a ± 2,00	0,75 ^a ± 0,21
T4AmP	0,67 ^a ± 0,13	0,43 ^a ± 0,01	0,46 ^{ab} ± 0,06	1,12 ^a ± 1,65	1,04 ^a ± 1,25	2,00 ^a ± 3,23

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0,05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

5.3.3 Sólidos Solúveis Totais

Em relação às médias de sólidos solúveis totais (Tabela 5.5), as amostras T1AmP ao 3° dia, T3AmP ao 6° dia, T2AmP ao 16° dia apresentaram valores significativamente maiores quando comparadas às outras amostras. Entretanto não pode ser observada uma tendência regular de comportamento das amostras. Os valores flutuaram entre 5° até 11° Brix e demonstram equivalência com outros valores reportados para amora-preta no Brasil, variando de 7° Brix para amoras pouco maduras (vermelhas) até 11° Brix para amoras maduras (pretas) (Tosun; Ustun; Tekguler, 2008). Variações de sólidos solúveis totais estão relacionadas com características edafoclimáticas de cada região, não sendo percebido na bibliografia a ocorrência de variações durante o armazenamento de amora (Ali *et al.*, 2011).

Tabela 5.5 - Sólidos solúveis totais das amostras de amora

Amostras	Sólidos solúveis totais (° Brix)					
	3° dia	6° dia	9° dia	12° dia	16° dia	19° dia
T1AmP	10,50 ^a ± 0,50	9,16 ^{ab} ± 0,57	3,50 ^b ± 0,50	10 ^a ± 0,00	10,0 ^{ab} ± 0,00	9,33 ^a ± 0,76
T2AmP	9,83 ^{ab} ± 0,28	9,50 ^{ab} ± 1,00	9,10 ^a ± 0,65	9,16 ^a ± 0,57	8,66 ^{bc} ± 0,28	11,0 ^a ± 2,38
T3AmP	9,58 ^{ab} ± 0,52	10,83 ^a ± 0,28	11,08 ^a ± 1,23	10 ^a ± 3,04	7,33 ^c ± 0,62	10,25 ^a ± 0,25
T4AmP	9,16 ^b ± 0,28	8,50 ^b ± 0,86	11,16 ^a ± 1,12	5,83 ^a ± 1,60	11,33 ^a ± 0,94	9,91 ^a ± 0,14

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0,05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

5.3.4 Umidade

Os resultados de porcentagem de umidade de amora são mostrados na Tabela 5.6 e não demonstraram variações significativas durante a armazenagem, independente do tratamento aplicado. Isso mostra que a aplicação da embalagem biodegradável contendo bagaço de malte foi eficiente na manutenção dos teores de umidade do fruto. Os valores de umidade se encontram dentro do limiar regular para amoras pretas da variedade Tupi e cultivadas no Brasil (Tosun; Ustun; Tekguler, 2008).

Tabela 5.6 – Umidade das amostras de amora

Amostras	Umidade (%)		
	6° dia	12° dia	19° dia
T1AmP	84,29 ^a ± 4,79	71,08 ^a ± 2,56	71,08 ^a ± 2,56
T2AmP	78,82 ^a ± 3,00	76,27 ^a ± 2,19	76,27 ^a ± 2,19
T3AmP	78,46 ^a ± 2,93	72,77 ^a ± 0,81	72,77 ^a ± 0,81
T4AmP	79,36 ^a ± 0,19	74,13 ^a ± 2,32	74,13 ^a ± 2,32

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0,05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

5.3.5 Acidez Total Titulável

Em relação à acidez total titulável da amora-preta (Tabela 5.7) observou-se a tendência de redução da acidez. As amostra T2AmP apresentou os menores valores de acidez ao 3° dia de armazenamento. Em contrapartida, não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos no período final de armazenamento. A redução continuada de acidez em amora-preta se dá devido ao fenômeno da respiração, que consome ácidos orgânicos como substratos (Souza, 2007).

Tal situação foi constatada em experimento que estudou amora com recobrimento fazendo uso de alginato e limoneno-lipossomo, havendo redução de acidez em todos os tratamentos e controle ao 11° dia (Joshi *et al.*, 2021).

Tabela 5.7 - Acidez total titulável (% de ácido cítrico) das amostras de amora

Amostras	Acidez total titulável (% de ácido cítrico)					
	3° dia	6° dia	9° dia	12° dia	16° dia	19° dia
T1AmP	1,56 ^b ± 0,11	0,90 ^{ab} ± 0,24	0,83 ^a ± 0,26	1,12 ^{ab} ± 0,08	0,94 ^a ± 0,05	1,05 ^a ± 0,26
T2AmP	1,54 ^b ± 0,13	0,65 ^b ± 0,08	1,50 ^a ± 0,37	1,09 ^b ± 0,12	1,02 ^a ± 0,27	0,97 ^a ± 0,10
T3AmP	1,30 ^b ± 0,26	1,24 ^v ± 0,03	0,91 ^a ± 0,40	1,55 ^a ± 0,30	0,97 ^a ± 0,15	0,86 ^a ± 0,13
T4AmP	1,82 ^a ± 0,11	0,83 ^{ab} ± 0,24	1,23 ^a ± 0,27	1,17 ^{ab} ± 0,03	0,89 ^a ± 0,05	0,81 ^a ± 0,12

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey, $p < 0,05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. N=3. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

5.3.6 Reversão da Drupeleta para o Vermelho

O fenômeno da reversão da drupeleta para o vermelho (RDV) é apresentado no Quadro 5.2, sendo observada em todos os tratamentos exibidos e atingiu 4 unidades de amora em todas as embalagens ao final do período de armazenagem. Os tratamentos sem uso de bagaço de malte (T1AmP) e contendo 20% de bagaço de malte (T3AmP), apresentaram acréscimo de amoras apresentando RDV nos 12° e 16° dias.

A mudança de cor em questão, é associada com a degradação de antocianina, redução de pH, dos índices de firmeza e da integridade celular. A propensão para RDV está relacionada ao genótipo do cultivar, danos na fruta e exposição do fruto a temperaturas de 23°C durante a colheita (Edgley; Close; Measham, 2020), não sendo observados efeitos significativos da utilização de diferentes tipos de embalagem neste fenômeno.

Quadro 5.2 – Reversão da drupeleta para o vermelho (RDV) (%) das amostras submetidas aos diferentes tratamentos

Dias de armazenamento	T1AmP	T2AmP	T3AmP	T4AmP
1°	0	0	0	0
3°	0	0	33	16
6°	0	16	33	16
9°	16	16	33	16
12°	50	33	50	33
16°	50	33	50	33
19°	66	66	66	66

N=6. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

5.3.7 Amolecimento

As avaliações de amolecimento (Quadro 5.3) demonstraram tendências muito semelhantes entre si, havendo o auge do amolecimento no 19° dia de armazenamento, sendo esse o ponto limítrofe para armazenamento nas condições estabelecidas na pesquisa. O aumento gradual do amolecimento em escala subjetiva

justifica o surgimento de RDV nas frutas, uma vez que esta é influenciada pela perda de integridade celular (Edgley; Close; Measham, 2020). A fruta acompanhou a tendência natural relatada, onde o armazenamento é reportado como no máximo 14 dias e com o fruto apresentando amolecimento gradual (Souza, 2007) havendo sinais claros de deterioração após este período.

Entretanto, é possível estabelecer uma relação desse parâmetro com os valores de firmeza e umidade. Ainda que não haja diferenciações em nível estatístico, percebe-se uma escalada de valores para ambos, com estes terminando maiores no último dia de armazenamento. Pode-se aduzir que a fruta apresentou um maior nível de amolecimento de tecido perceptível em virtude da perda de umidade. A mesma perda de umidade reflete em frutas com maior dureza, em consonância com estudos já publicados. Em estudo com ameixa armazenada por 18 dias em temperatura de 0°C, demonstrou-se a tendência de perda de massa em até 8% em 18 dias, com valores de firmeza com picos de aumento, enquanto a fruta perde massa constantemente (Oliveira *et al.*, 2013).

Embalagens lacradas biodegradáveis indicam efeito positivo na preservação dos atributos de perda de umidade. Em trabalho anterior que testou amoras em embalagens biodegradáveis, as bioembalagens de amido de milho contendo amora sob 0 e 4°C apresentaram uma perda de massa inferior quando comparada ao tratamento com embalagens convencionais (Hadadinejad; Ghasemi; Mohammadi, 2018), corroborando efeitos benéficos que os bioplásticos podem ocasionar em amoras.

Quadro 5.3 – Avaliação da percepção do amolecimento das amoras em diferentes embalagens

Dias de armazenamento	T1AmP	T2AmP	T3AmP	T4AmP
1°	1	1	1	1
3°	2	2	1	1
6°	3	2	2	1
9°	3	2	3	2
12°	3	3	3	3
16°	4	4	4	4
19°	5	5	5	5

N=6. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

5.3.8 Vazamento

O vazamento em amora (Quadro 5.4) foi pouco pronunciado em todos os tratamentos, sendo apenas significativo para o tratamento que empregou embalagem biodegradável Controle (sem BM). De forma similar foi encontrado por Kim et al. (2015) onde o vazamento de amora teve correlação negativa com sólidos solúveis totais e acidez titulável. Uma vez que não houve decréscimo significativo nos teores de sólidos solúveis e acidez total titulável dos frutos armazenados, se observou não se observou vazamento da amora.

Quadro 5.4 – Avaliação de detecção de vazamento em amoras em diferentes embalagens (%)

Dias de armazenamento	T1AmP	T2AmP	T3AmP	T4AmP
1°	0	0	0	0
3°	33	0	0	0
6°	50	0	0	0
9°	50	16	0	16
12°	66	16	0	16
16°	66	16	0	16
19°	66	16	0	16

N=6. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

5.3.9 Apodrecimento

Dados referentes ao apodrecimento dos frutos são mostrados no Quadro 5.5. A amostra T1AmP apresentou números maiores de drupas podres em comparação com os demais tratamentos. Em contrapartida, os diferentes teores de bagaço de malte na embalagem não ter promovido o desenvolvimento de patógenos comuns ao armazenamento de amora mediante a avaliação visual.

Esses resultados mostraram-se promissores em relação aos resultados bibliográficos que trouxeram a influência do recobrimento para os níveis de apodrecimento. A maioria dos tratamentos de recobrimento proporcionaram taxas de amoras apodrecidas entre 50 a 60% logo após 6 dias de armazenamento (Ascencio-Arteaga *et al.*, 2022), sendo que 50% das amoras em T2AmP e T3AmP e para T4AmP a taxa foi de 33%. Outra pesquisa apontou taxas acima de 70% para a porcentagem de amoras apodrecidas em todos os tratamentos avaliados, que fizeram o uso de recobrimento e para o controle do experimento (Oliveira *et al.*, 2013).

De acordo com Kim *et al.* (2015), tem-se uma correlação positiva entre apodrecimento e vazamento de fruto, os quais ficam evidentes para a embalagem que não contém bagaço de malte em sua composição (T1AmP). Percebe-se que ambas as variáveis tiveram crescimento na mesma proporção, demonstrando que tal embalagem apresentou frutas mais propensas para apodrecimento e vazamento.

Quadro 5.5 – Avaliação de detecção de amoras apresentando apodrecimento na embalagem (%)

Dias de armazenamento	T1AmP	T2AmP	T3AmP	T4AmP
1°	0	0	0	0
3°	0	0	0	0
6°	0	0	0	0
9°	0	0	0	0
12°	16	0	0	16
16°	66	33	33	33
19°	83	50	50	33

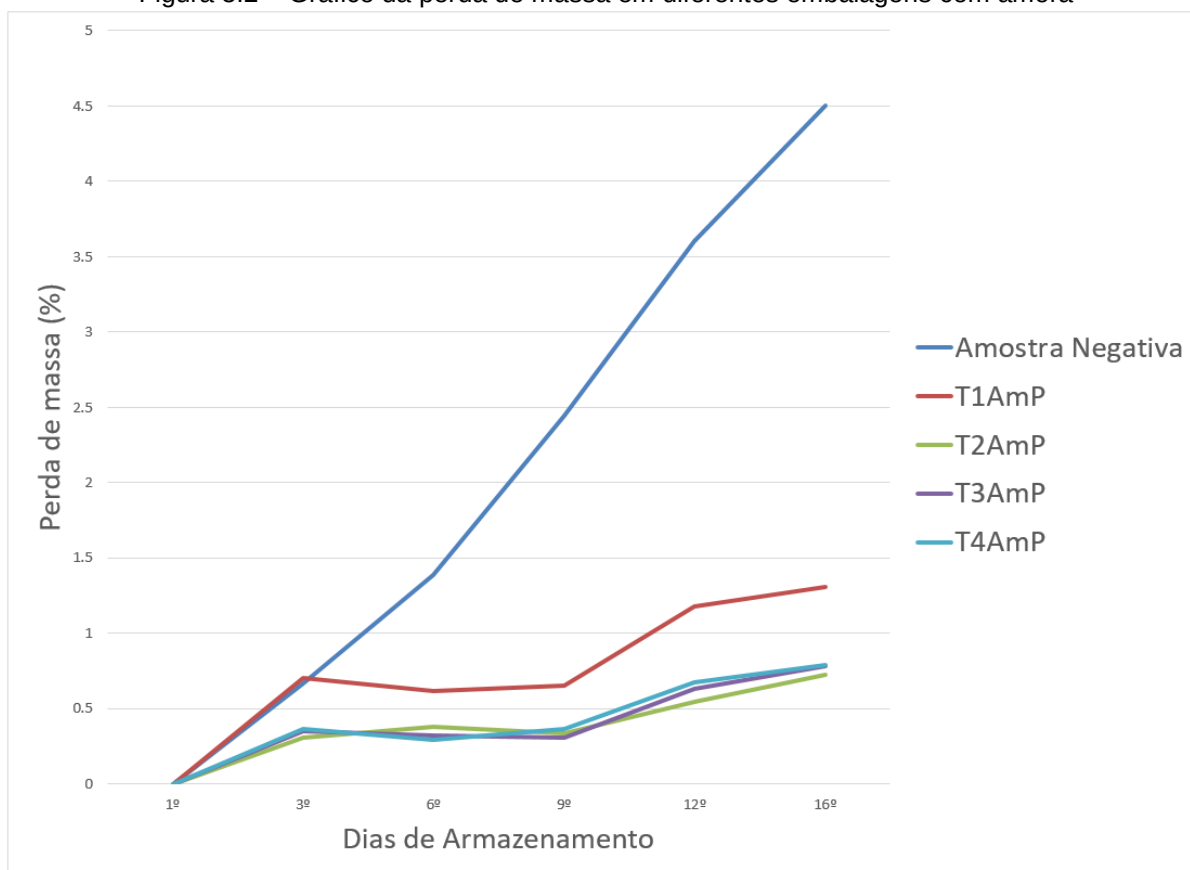
N=6. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

5.3.10 Perda de Massa

Os dados de perda de massa (Figura 5.2) corroboram para o cenário já apontado pelas análises subjetivas, onde as frutas em embalagem biodegradável contendo bagaço de malte apresentaram percentual de perda de massa inferior a 1% durante todo o armazenamento. Estes percentuais foram inferiores à taxa de perda de massa para a embalagem Controle (não possui bagaço de malte em sua composição), que superou 1% a partir do 12º dia de acompanhamento.

Essa amostra negativa apresentou o pior desempenho no que diz respeito a perda de massa, apresentando valores muito superiores aos demais tratamentos no 6º dia de armazenamento, e ao final das avaliações no 16º dia, uma percentagem de perda de massa em torno de 4,5% foi registrada.

Figura 5.2 – Gráfico da perda de massa em diferentes embalagens com amora



Fonte: O autor. N=1. Legenda – Amostra Negativa: Embalagem de poliestireno expandível; T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

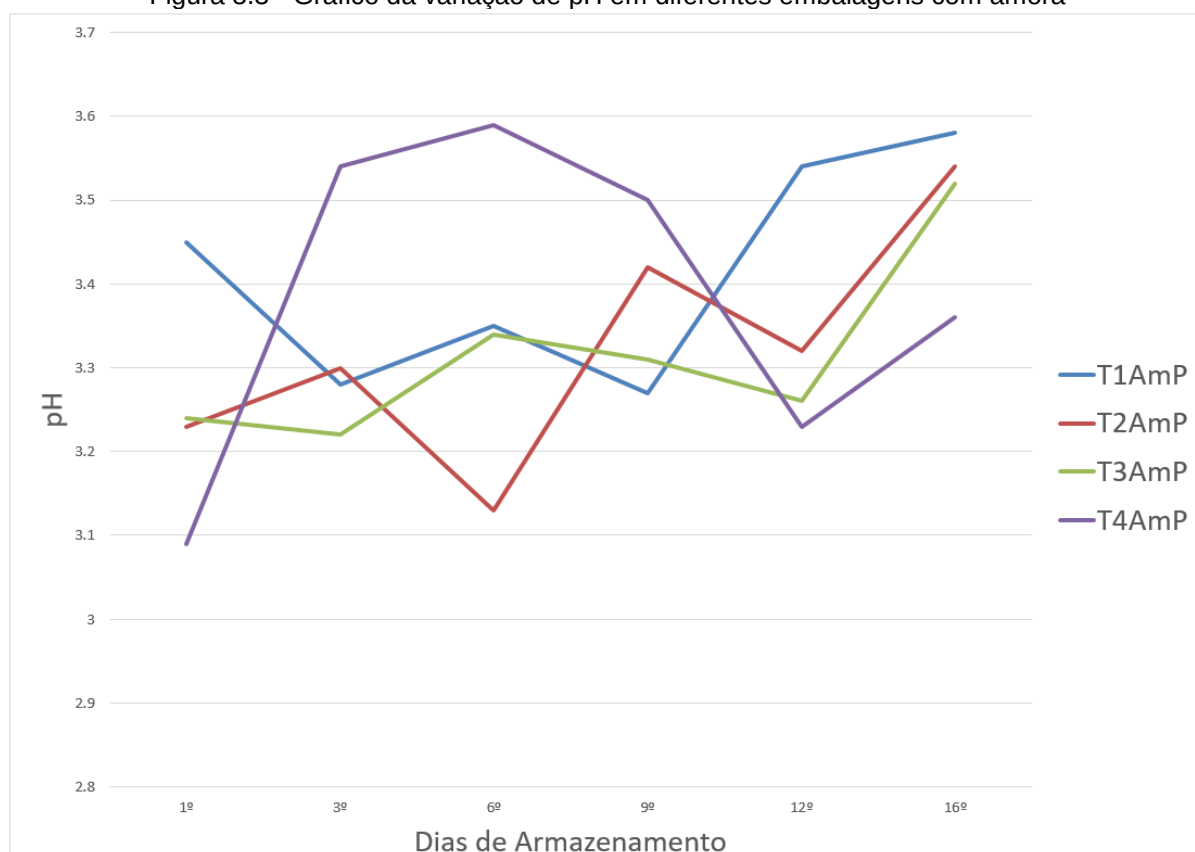
5.3.11 pH

A variação de pH dos frutos durante o armazenamento (Figura 5.3) mostrou valores entre 3,1 a 3,6. Todas as amoras, independente da embalagem, apresentaram tendência de aumento do pH durante o armazenamento. Em estudo de Kim et al. (2015), a amora apresenta pH maiores ao final da armazenagem, em concordância com os resultados deste trabalho. Além disso, o acréscimo de pH se correlaciona positivamente com o aumento de vazamentos e apodrecimento em amora, sobretudo ao final do período de armazenamento.

A tendência de aumento do pH relaciona-se com a diminuição dos valores de acidez titulável. A bibliografia aponta que, independente do grau de maturação das amoras armazenadas por 12 dias em $4 \pm 0,5$ °C, as respostas observadas para a acidez titulável e o pH são a redução e aumento, respectivamente (Schiavon *et al.*, 2023).

As amoras utilizadas nesse trabalho, que são da variedade Tupi, apresentam valores de pH inferiores quando comparadas às variedades utilizadas no trabalho de Kim et al. (2015). Os valores de pH estão de acordo com os esperados para amoras pretas da variedade Tupi, que são em torno de 3,1 (Tosun; Ustun; Tekguler, 2008). Não constata-se influência por parte das formulações das embalagens utilizadas nos valores de pH da amora.

Figura 5.3 - Gráfico da variação de pH em diferentes embalagens com amora



Fonte: O autor. N=6. Legenda – T1AmP: Bioplástico amiláceo; T2AmP: Bioplástico amiláceo + 9% de bagaço; T3AmP: Bioplástico amiláceo + 18% de bagaço; T4AmP: Bioplástico amiláceo + 27% de bagaço.

5.4 CONCLUSÃO

A integridade destas embalagens no armazenamento de amoras coincidiu com o *shelf-life* do produto, de 19 dias. As embalagens que não continham bagaço de malte demonstraram maior ocorrência de vazamento e apodrecimento nas frutas avaliadas.

Os tratamentos que contaram com amido e bagaço de malte (BM) (T2AmP, T3AmP e T4AmP) apresentaram menor perda de massa quando comparados ao tratamento que não levou BM (T1AmP). Além disso, qualquer um dos bioplásticos empregados foram superiores em relação a esta propriedade quando comparados a amostra negativa (poliestireno expandido).

As embalagens, independente do teor de bagaço de malte aplicado, não influenciaram significativamente os teores sólidos solúveis totais, umidade e acidez total titulável dos frutos. O fenômeno de reversão de drupeletas para o vermelho mostrou-se progressivo e independente dos tratamentos aplicados, havendo semelhante

progressão deste efeito com a percepção geral de amolecimento nos frutos embalados.

Os valores de L nas amostras com bioplástico, indicam que as amoras possuem baixa luminosidade, resultando em uma cor escura próxima ao preto. O valor de a sugere uma leve tendência ao vermelho, enquanto o valor de b indica uma sutil tendência ao amarelo.

A utilização de embalagens biodegradáveis a base de amido e bagaço de malte no acondicionamento de amora-preta representa uma alternativa interessante e promissora, aliando sustentabilidade, valorização de subprodutos e maior vida de pequenos frutos.

CAPÍTULO 6 - USO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS ATIVAS EM ABÓBORA DE PESCOÇO MINIMAMENTE PROCESSADA

Resumo

Pesquisas pertinentes a plásticos alternativos sustentáveis encontram-se em no mercado e na academia. Contudo, o uso de embalagens ativas biodegradáveis demanda estudos acerca da efetividade de tais tecnologias na armazenagem de hortifrúti. Embalagens biodegradáveis de amido de mandioca termoplástico adicionado de bagaço de malte com ingredientes ativos foram empregadas para o acondicionamento de abóboras minimamente processadas. Além disso, adicionou-se os ingredientes ativos óxido de ferro, nanoargilas zeólitas, óleo essencial de tomilho e α -tocoferol. No acompanhamento do comportamento dos produtos sob refrigeração, a embalagem biodegradável contendo α -tocoferol proporcionou ao hortifrúti maiores valores de firmeza que chegaram a 259,44 N ao 12ºdia, por um mecanismo de preservação da plasmólise celular. Abóboras em contato com α -tocoferol apresentaram menor escurecimento, com o valor do L mantendo-se em 62,22 e 36,72 ao 12ºdia. As abóboras armazenadas em embalagens contendo o α -tocoferol demonstraram tendência de afastamento do vermelho, com o parâmetro a^* estatisticamente inferior aos demais e chegando a 36,72 no 12ºdia. O uso de embalagens biodegradáveis ativas contendo α -tocoferol em sua composição são recomendáveis para a armazenagem de abóbora de pescoço minimamente processada.

Palavras-chave: *Cucurbita moschata* Duch.; Bioplásticos; Vitamina E.

Abstract

Research on sustainable alternative plastics is available in the market and in academia. However, the use of biodegradable active packaging requires studies on the effectiveness of such technologies in the storage of fruit and vegetables. Biodegradable packaging made of thermoplastic cassava starch with added malt bagasse with active ingredients was used to package minimally processed pumpkins. In addition, the active ingredients iron oxide, zeolite nanoclays, thyme essential oil and α -tocopherol were added. When monitoring the behavior of the products under

refrigeration, the biodegradable packaging containing α -tocopherol provided the fruit and vegetables with higher firmness values, reaching 259.44 N on the 12th day, through a mechanism of preservation of cellular plasmolysis. Pumpkins in contact with α -tocopherol showed less darkening, with the L value remaining at 62.22 and 36.72 on the 12th day. Pumpkins stored in packages containing α -tocopherol showed a tendency to move away from red, with a* parameter statistically lower than the others and reaching 36.72 on the 12th day. The use of active biodegradable packages containing α -tocopherol in its composition is recommended for the storage of minimally processed neck pumpkin.

Keyword: *Cucurbita moschata* Duch.; Bioplastics; Vitamin E.

6.1 INTRODUÇÃO

A abóbora possui características que garantem uma notável resistência durante períodos de armazenamento. Sua armazenagem após o devido transcorrer das etapas de colheita e pós-colheita pode resultar em até três meses sob estocagem em temperatura ambiente (Luengo; Lopes, 1995). Dentre os tipos de cortes adotados para a abóbora de pescoço, o corte em meia lua (Sasaki, 2005) é uma das opções empregadas com sucesso na sua comercialização.

Na atualidade, o público consumidor tem demonstrado preferências por hortaliças prontas para o consumo. Para ser considerado um minimamente processado, o vegetal passa pela lavagem, corte e descascamento. Essa tendência se dá pelas exigências dos consumidores por um produto fresco, sem conservantes, seguro e prontamente disponível ao consumo. O aumento de idade da população também atua como um fator preponderante para a emergência desse mercado (Zink, 1997). Estudos demográficos apontam que até 2030, 12% da população mundial terá 60 anos ou mais (World Health Organization, 2021).

Contudo, esse tipo de processamento implica em alterações que resultam em uma durabilidade inferior do vegetal. Essas alterações são delineadas por Vitti (2003), que faz menção ao corte que danifica as células e a membrana celular, condicionando alterações metabólicas no alimento. O envelhecimento de tecido bem como a

degradação do mesmo é favorecido nesse cenário por conta de injúrias no vegetal, que acarreta em aumento da produção de etileno e da taxa respiratória.

Além disso, Rosa e Carvalho (2000) apontam que o processamento mínimo aumenta as superfícies de corte, dano e disponibilidade de nutrientes, bem como ações de processamento que implicam a manipulação destes alimentos que servem como janelas para contaminações. Por conta desses fatores, o período de armazenamento adotado para minimamente processados pode ser de 12 dias (Sasaki, 2005) até 13 dias (Camargo, 2020). Ainda que o processamento apresente desafios, suas vantagens são valiosas o suficiente para que haja pesquisa focada na tecnologia de embalagem de vegetais capaz de conter tais alimentos sob um maior período de tempo. Segundo Santos e Almeida (2020), pondera-se na literatura que o desenvolvimento do conjunto inovação, tecnologia e sustentabilidade demanda a multidisciplinariedade de abordagens tecnológicas.

Os usos de zeólitas, óxido de ferro, óleo essencial de tomilho e tocoferol já apresentam referenciais na academia onde tais aplicações podem incorrer em benefícios para produtos hortifrúti. Prima-se pelo teste em produtos hortifrúti minimamente processados a fim de se colocar em prática pesquisa de característica inovadora que ao mesmo tempo baseie-se em possíveis técnicas já consolidadas na ciência em outros contextos de pesquisa.

Zeólitas constam na literatura como excelentes materiais adsorvedores, além de atuarem com propriedades anti-microbianas e absorvedoras de etileno na tecnologia de alimentos conforme revisão de Villa *et al.* (2022). Já a revisão de Nieto (2020) verifica que as aplicações do óleo essencial de tomilho na preservação alimentícia estendem-se por vários gêneros alimentícios, sendo estes os produtos cárneos, laticíneos e pescados.

Envisionando o histórico do óxido de ferro atua na conservação de alimentos mediane a absorção de oxigênio por meio da revisão de Cichello (2015), verifica-se que este é um item já empregado na conservação de pães, carnes, pescados, laticíneos e frutas. A aplicação de tocoferol já foi empregada de maneira bem sucedida como ingrediente ativo conforme se reporta em revisão conduzida por Costa *et al.* (2024), sendo utilizável em técnicas de recobrimento de alimentos em 33 estudos realizados, principalmente na indústria de produtos cárneos.

Visando o prolongamento da vida útil de abóbora de pescoço minimamente processada, assim como a utilização de materiais biodegradáveis, o presente trabalho foca no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis ativas a base de amido e bagaço de malte e sua aplicação no acondicionamento de abóboras, fazendo uso de ingredientes ativos em aplicação de cunho inédito na área de minimamente processados. Os produtos embalados foram acompanhados durante seu armazenamento refrigerado e suas propriedades físico-químicas e de aparência avaliadas.

6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

6.2.1 Materiais

6.2.1.1 Plantio, colheita e processamento mínimo da hortaliça utilizada

Optou-se pela variedade de abóbora “Menina Rajada” (seca), adquirida da empresa Isla Sementes, a qual seguiu a implantação em campo mediante o uso de mudas preparadas sob cultivo protegido em substrato fértil sob hidratação constante. Como sistema de produção da hortaliça, optou-se pelo plantio das sementes em cultivo protegido em canteiro sombreado, em 27/11/2020 (Figura 6.1). A época obedece a recomendação técnica descrita na embalagem do produto para o plantio, que vai de agosto até novembro.

As análises de qualidade, como o teste de germinação e pureza foram executadas em 07/10/2020, revelando os respectivos valores de 80% e 99,8%. Os cultivares são caracterizados no mercado como “Abóbora Menina Rajada”, sendo classificada como uma “Abóbora Seca” em termos comerciais presentes na embalagem. É etiquetado como sendo um cultivar de “Verão”, havendo 140 dias de ciclo totais. As sementes foram provenientes da Safra 2018/2018. O lote das sementes foi 137582-003-S2, produzido pela empresa Isla Sementes.

A semeadura em canteiro protegido ocorreu em 27/11/2020. O plantio das mudas desenvolvidas em campo ocorreu em 19/12/2020. A produção contou com adubação inorgânica nitrogenada no momento de implantação da cultura. As abóboras foram produzidas na Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON). A gleba

utilizada contou com as proporções de 50 m x 16 m, possuindo 1,5 m de bordadura, o que é equivalente à 800 m² de área total e 611 m² de área útil. O espaçamento estipulado para as mudas foi de 3 x 2 m (entre linha x entre cova).

Para a limpeza da gleba de plantio se lançou o uso de herbicida glifosato não seletivo além do uso de roçadeira mecânica, a fim de se obter terreno limpo para a implementação da cultura. Durante o desenvolvimento da cultura (Figura 6.2), se optou pelo uso de métodos mecânicos e manuais para a remoção de ervas daninhas. Priorizou-se no início a devida amontoa das mudas implementadas em campo. Foram calculados os espaçamentos para 100 covas, com uma muda por cova (Figura 6.3). O ciclo da abóbora foi de aproximadamente 140 dias.

Figura 6.1 – Gleba de plantio da abóbora de pescoço



Fonte: O autor.

Figura 6.2 – Planta de abóbora em estágio inicial de desenvolvimento



Fonte: O autor.

Figura 6.3 – Aspecto das mudas desenvolvidas demonstrando espaçamento adotado



Fonte: O autor.

6.2.1.2 Seleção do material biodegradável

A embalagem biodegradável ativa utilizada foi a desenvolvida no Capítulo 2, além de incorporadas de ingredientes ativos descritos no Quadro 6.1 na mistura de água, glicerol amido e bagaço de malte.

Quadro 6.1 – Proporções utilizadas para as embalagens biodegradáveis contendo ingrediente ativo e aplicável em abóbora

Sigla	Água (mL)	Amido (g.100g ⁻¹)	Bagaço de malte (g.100g ⁻¹)	Glicerol (g.100g ⁻¹)	Tocoferol (g.100g ⁻¹)	Óleo Essencial de Tomilho (g.100g ⁻¹)	Ferro (g.100g ⁻¹)	Zeólita (g.100g ⁻¹)
T1Ab	100	73	18	9	0	0	0	0
T2Ab	100	67	17	8	0	0	0	8
T3Ab	100	67	17	8	0	0	8	0
T4Ab	100	71	18	9	0	2	0	0
T5Ab	100	71	18	9	2	0	0	0

T1Ab: Embalagem ativa controle; T2Ab: Embalagem ativa com zeólita; T3Ab: Embalagem ativa com ferro; T4Ab: Embalagem ativa com óleo essencial de tomilho; T5Ab: Embalagem ativa com tocoferol.

6.2.1.3 Acondicionamento das amostras

As amostras de abóbora minimamente processada foram dispostas em embalagens biodegradáveis (Figura 6.4), separadas conforme distintas formulações de revestimentos ativos (Figura 6.5) sendo classificados em diferentes tratamentos associados com ingredientes ativos e envoltas em filme plástico de PVC. Após isso, o conjunto de alimento e embalagem foi armazenado em ambiente refrigerado de $5,5 \pm 1,5$ °C, sendo suas alterações visuais e físico-químicas acompanhadas até o momento se mostrasse inviável para o consumo, devido ao visível grau de perecibilidade. Por fim, tem-se a abóbora minimamente processada embalada sob os tratamentos de diferentes formulações (Figura 6.6).

Figura 6.4 – Bases bioplásticas prontas para a montagem de embalagem



Fonte: O autor.

Figura 6.5 – Abóboras cortadas em meia lua sobre diferentes materiais biodegradáveis prontas para embalagem



Fonte: O autor.

Figura 6.6 – Embalagens de abóboras submetidas aos tratamentos



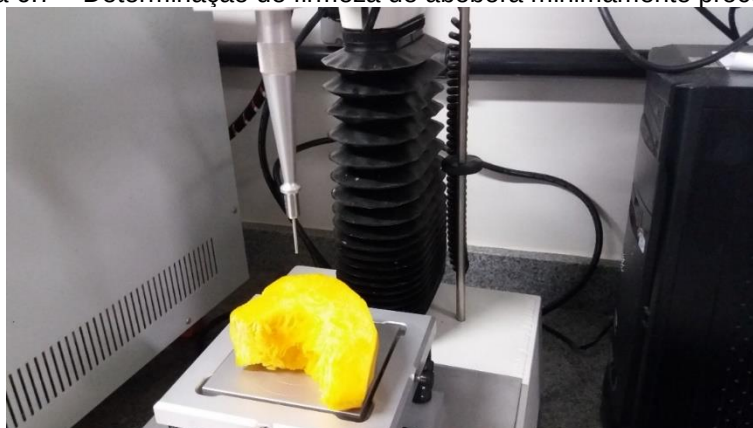
Fonte: O autor.

6.2.2 Métodos

6.2.2.1 Firmeza

A avaliação da firmeza foi realizada em texturômetro TA.TX Plus (*Stable Micro System*) com *probe* de 2 mm do tipo P/2 (*Stable Micro System*), por meio de ensaios de penetração mecânica, avaliando o parâmetro da dureza (N) quantitativamente nas amostras testadas (NISHINARI *et al.*, 2013). Cada ensaio foi conduzido em quintuplicata. O *probe* contou com massa de penetração de 5 g e velocidade de penetração de 1 mm/s (Figura 6.10), baseado em Camargo (2020).

Figura 6.7 – Determinação de firmeza de abóbora minimamente processada



Fonte: Camargo (2020).

6.2.2.2 Cor

A cor dos pedaços de abóbora minimamente processados foi avaliada em sua parte de maior dimensão, ao centro, adaptando metodologia de Camargo (2020). Utilizou-se colorímetro (BYK Gardner) portátil em escala CieLab, onde analisaram-se os parâmetros: L (luminosidade que vai do branco (100) ao preto (0)), a^* (cromaticidade que vai do vermelho ao verde) e b^* (cromaticidade que vai do amarelo ao azul) (Ferreira; Spricigo, 2017; Kalluf, 2006). As cores das amostras foram determinadas com iluminante D₆₅ (luz do dia) e ângulo visual de 10°, sendo determinados em triplicata para cada tratamento (Vieira, 2011).

6.2.2.3 Acidez total titulável

A quantidade de 10 g do conteúdo de abóbora foram triturados e diluídos em 100 mL de água (Camargo, 2020). A acidez total titulável (ATT) foi calculada mediante a titulação da solução com NaOH 0,1 M até o ponto de viragem, de acordo com recomendações do Instituto Adolfo Lutz (2008). A análise foi realizada em triplicata e os resultados expressos em % (g/100 mL) de ácido málico.

6.2.2.4 Ph

Foi verificado por meio de visualização dos valores de pH obtidos em amostra de 10 g de abóbora diluídas em 100 mL de água (Camargo, 2020) em pHmetro modelo PHS-3B (Labmeter) (Instituto Adolfo Lutz, 2008-).

6.2.2.5 Umidade

A avaliação do teor de umidade (U) foi realizada em triplicata. A determinação de umidade ocorreu em estufa com temperatura constante de 105°C (Camargo, 2020). O cálculo da porcentagem de umidade foi obtido mediante a pesagem em balança gravimétrica da massa seca e sua comparação com o valor da massa inicial, em acordo com as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008).

6.2.2.6 Perda de massa

A perda de massa (PM) das amostras foi realizada por meio de pesagens sucessivas de uma mesma unidade de bandeja de cada tratamento. Os resultados foram apresentados como % de perda de massa (Camargo, 2020).

6.2.2.7 Amolecimento

O conteúdo interno de cada embalagem, o nível de amolecimento de cada pedaço de abóbora foi verificado mediante a utilização de escala subjetiva graduada de 1 a 5 pontos. Referente às notas aferidas, 1 é muito firme, 2 é comercializável, 3 é marginalmente comercializável, 4 é desintegração e 5 é alto nível de desintegração. Por ser uma análise subjetiva foi utilizado o mesmo avaliador com o intuito de evitar variações de julgamento por indivíduos distintos (Kim *et al.*, 2015).

6.2.4 Análise Estatística

Os resultados computados foram trabalhados mediante o uso análise de variância (ANOVA) seguido do teste de hipóteses do tipo Tukey (5% de significância) para avaliar a diferença estatística entre as comparações múltiplas de médias obtidas nos tratamentos utilizados (Banzatto; Kronka, 2006). O programa utilizado para o cálculo de médias e plotagem de gráficos foi o Statistica (TIBCO, EUA).

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Firmeza

Os resultados de firmeza (Tabela 6.1) obtidos revelaram que o tratamento T5Ab (contendo α -tocoferol) proporcionou os maiores índices de firmeza ao final do período de acondicionamento das amostras.

Tabela 6.1 –Firmeza das amostras de abóbora

Amostras	Firmeza (N)		
	4° dia	8° dia	12° dia
T1Ab	403,76 ^{ab} $\pm$ 105,53	144,82 ^a $\pm$ 101,59	123,52 ^b $\pm$ 80,53
T2Ab	290,87 ^b $\pm$ 59,91	139,73 ^a $\pm$ 43,36	136,01 ^b $\pm$ 33,86
T3Ab	245,81 ^b $\pm$ 66,99	302,97 ^a $\pm$ 168,60	214,17 ^{ab} $\pm$ 36,29
T4Ab	376,43 ^{ab} $\pm$ 148,49	262,69 ^a $\pm$ 49,50	172,72 ^{ab} $\pm$ 18,62
T5Ab	495,86 ^a $\pm$ 74,38	296,83 ^a $\pm$ 110,98	259,49 ^a $\pm$ 86,68

* Os resultados foram expressos como: média $\pm$ desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. T1Ab: Embalagem ativa controle; T2Ab: Embalagem ativa com zeólita; T3Ab: Embalagem ativa com ferro; T4Ab: Embalagem ativa com óleo essencial de tomilho; T5Ab: Embalagem ativa com tocoferol. $n=3$.

A retenção de firmeza nessa hortaliça apresenta ineditismo, uma vez que tal ingrediente ativo não é estudado nessas condições, sendo possível conjecturar a possibilidade das propriedades antioxidantes presentes na embalagem possam ter tido efeito benéfico. Como entraram em contato direto com a hortaliça, sendo isso algo obrigatório para a de funções antioxidantes do α -tocoferol em alimentos (Contini *et al.*, 2011).

Contudo, pode ser levantada a hipótese de que possa ter havido um fenômeno relacionado a turgidez das células do tecido vegetal da abóbora, algo já observável em peras que apresentaram perda de água quando danificadas pelo excesso de frio (Luza *et al.*, 1992). Não se pode descartar a ação de mecanismo que permitiu uma menor degradação da membrana semipermeável da célula vegetal, desfavorecendo a taxa de plasmólise no tratamento com tocoferol. Tal efeito benéfico do tocoferol para manutenção da firmeza também é constatado como positivo em maçã armazenada em condição de recobrimento com vitamina E (Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2014).

6.3.2 Cor

Para as avaliações de cor, o parâmetro L (Tabela 6.2) indicou que a luminosidade apresentou maiores valores para os tratamentos T2Ab, T4Ab e T5Ab (óxido de ferro, óleo essencial de tomilho e tocoferol, respectivamente) no 4º dia, mantendo tal tendência no último dia avaliado (12º dia). Tal quesito demonstra um menor escurecimento do tecido vegetal e pode corresponder à capacidade antioxidante destes ativos perceptíveis desde o 4º dia.

Tabela 6.2 – Parâmetro *L das amostras de abóbora embaladas

Amostras	Parâmetro L durante o armazenamento		
	4º dia	8º dia	12º dia
T1Ab	60,97 ^b ± 0,28	53,10 ^a ± 4,47	54,72 ^c ± 0,61
T2Ab	59,76 ^b ± 0,43	58,36 ^a ± 4,84	61,62 ^{ab} ± 1,02
T3Ab	63,73 ^a ± 1,00	58,54 ^a ± 2,83	61,21 ^{ab} ± 0,58
T4Ab	64,74 ^a ± 0,64	58,99 ^a ± 0,75	60,80 ^a ± 0,29
T5Ab	64,24 ^a ± 0,20	57,68 ^a ± 0,76	63,22 ^b ± 1,33

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. T1Ab: Embalagem ativa controle; T2Ab: Embalagem ativa com zeólita; T3Ab: Embalagem ativa com ferro; T4Ab: Embalagem ativa com óleo essencial de tomilho; T5Ab: Embalagem ativa com tocoferol. n=3.

Tal efeito comprovado no experimento comunica-se com achados anteriores na literatura. O combate do tocoferol contra o escurecimento de tecido de origem vegetal é reportado para a fruta da maçã minimamente processada e armazenada com recobrimento de α -tocoferol (Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2014). A vitamina E apresenta função antioxidante denotada por mecanismo que envolve ação inibitória da peroxidação de lipídios das membranas celulares (Batista; Costa; Pinheiro-Sant'ana, 2007).

Sendo o tocoferol uma das formas das vitaminas do complexo E, cumpre funções de proteção contra a rancidez oxidativa (Salas *et al.*, 2008). Aplicações que testam possíveis efeitos diretos do α -tocoferol no escurecimento de frutas e vegetais não são comuns, mas categoriza-se que a via de atuação deste composto se dá como antioxidante não enzimático (Grilo *et al.*, 2016). O α -tocoferol demonstra efeitos positivos quando usado em conjunto com a quercetina, quercetina-3-ramnosida e

ácido ascórbico, demonstrando a inibição do escurecimento de polpa de maçã da variedade Granny-Smith minimamente processada (Arnold; Gramza-Michałowska, 2022).

Quanto ao óxido de ferro, pode-se compreender que ocorre um evento de captação de oxigênio na embalagem, reduzindo o escurecimento enzimático por meio de ferridação de polifenóis. Essa propriedade de formação de quelatos envolvendo polifenóis é declarada como importante no que tange a absorção de ferro (Zhang *et al.*, 2023). Em estudo que empregou filme bioplástico de gelatina associada com nano partículas de óxido de ferro magnetizado na armazenagem de uvas por 14 dias sob 25°C, observou-se que para todas as quantidades de 10, 15 e 20% de óxido ferro na solução gelatinosa, o percentual do índice de escurecimento foi estatisticamente diferenciável quando comparados ao tratamento de uvas embaladas em plástico convencional e uvas não embaladas (Mehmood; Sadiq; Khan, 2020).

Com relação ao óleo essencial de tomilho, alguns paralelos na bibliografia podem indicar ação antioxidante do timol (principal componente do óleo essencial de tomilho) como capaz de inibir a enzima polifenoloxidase em tecidos vegetais. Tal efeito foi verificado nas frutas asiáticas conhecidas como longanas (*Dimocarpus longan* Lour.) armazenadas e submetidas a fumigação com timol, onde o escurecimento de pericarpo verificou-se em menor proporção (Khan *et al.*, 2021).

O óxido de ferro, por apresentar ação de captação do oxigênio, apresenta função antioxidante benéfica quando aplicado em laranja minimamente processada, sendo este um produto hortifrúti de vida útil semelhante ao tempo de estudo empreendido para abóbora (15 dias). No entanto, o mesmo estudo já deixa claro que existe uma tendência de decaimento em vários parâmetros da qualidade do alimento, dentre estes o escurecimento não-enzimático da fruta (Yadav; Ray, 2010).

Para os parâmetros a^* (Tabela 6.3), estes revelam menores valores de matiz para o tratamento com α -tocoferol em comparação com os outros tratamentos no 4º e 12º dias, o que significa que a cromaticidade detectável estava mais próxima do espectro da cor verde do que vermelha. Tal ocorrência pode denotar uma maior ação dos processos de deterioração da abóbora nos outros tratamentos em comparação com o tratamento de tocoferol. Oxidação lipídica gera não só *off-flavors* de caráter sensorial como pode propiciar alterações na cor de alimentos durante o *shelf-life*

(Singh, 1994), contudo, ressalta-se que a abóbora possui baixos valores de lipídeos de maneira geral.

Uma característica interessante é o de que o α -tocoferol combina efeitos protetivos antioxidantes em conjunto com um fortalecimento do alimento com a vitamina E, agregando no valor nutricional do alimento (Chu *et al.*, 2023).

Tabela 6.3 –Parâmetro a* das amostras de abóbora embaladas

Amostras	Parâmetro a* durante o armazenamento		
	4º dia	8º dia	12º dia
T1Ab	39,53 ^a $\pm$ 0,39	35,93 ^a $\pm$ 2,60	38,61 ^a $\pm$ 1,02
T2Ab	39,67 ^b $\pm$ 0,46	36,12 ^a $\pm$ 1,62	36,55 ^{ab} $\pm$ 0,07
T3Ab	39,04 ^{ab} $\pm$ 0,16	37,23 ^a $\pm$ 0,94	36,27 ^{ab} $\pm$ 1,57
T4Ab	35,05 ^c $\pm$ 0,82	34,63 ^a $\pm$ 0,74	35,95 ^{ab} $\pm$ 0,04
T5Ab	37,14 ^{ab} $\pm$ 0,18	35,23 ^a $\pm$ 0,40	36,72 ^b $\pm$ 0,52

* Os resultados foram expressos como: média $\pm$ desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. T1Ab: Embalagem ativa controle; T2Ab: Embalagem ativa com zeólita; T3Ab: Embalagem ativa com ferro; T4Ab: Embalagem ativa com óleo essencial de tomilho; T5Ab: Embalagem ativa com tocoferol. n=3.

Nas análises de cromaticidade b* (Tabela 6.4), o teste de médias resultou em diferenças no primeiro ponto, onde o tratamento Controle (T1Ab) se aproxima mais do espectro do amarelo, seguido pelo α -tocoferol (T5Ab). Na sequência, tratamentos com zeólita, ferro e timol se aproximaram de maneira crescente em uma cor onde o croma se aproxima do azul.

Tabela 6.4 – Parâmetro b* das amostras de abóbora embaladas

Amostras	Parâmetro b* durante o armazenamento		
	4° dia	8° dia	12° dia
T1Ab	69,11 ^a ± 2,29	53,49 ^a ± 5,52	54,08 ^a ± 1,83
T2Ab	64,01 ^b ± 0,28	58,67 ^a ± 3,09	56,27 ^a ± 1,05
T3Ab	61,97 ^{bc} ± 1,33	58,92 ^a ± 2,58	54,80 ^a ± 4,76
T4Ab	59,06 ^c ± 2,23	53,50 ^a ± 2,72	57,17 ^a ± 1,06
T5Ab	66,27 ^{ab} ± 0,91	55,94 ^a ± 0,99	55,06 ^a ± 1,87

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0,05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. T1Ab: Embalagem ativa controle; T2Ab: Embalagem ativa com zeólita; T3Ab: Embalagem ativa com ferro; T4Ab: Embalagem ativa com óleo essencial de tomilho; T5Ab: Embalagem ativa com tocoferol. n=3.

6.3.3 Acidez Total Titulável

Em referência às médias de acidez total titulável (Tabela 6.5), as análises revelaram estabilidade nos valores, não havendo diferença estatística significativa durante a maior parte do tempo, com exceção do tratamento contendo tocoferol que mostrou maiores valores de ATT no 4° dia de armazenamento. O estudo de Lima et al. (2019) apresenta que ácidos orgânicos ocorrem em quantidades diminutas em abóbora, com estes sendo consumidos durante a respiração dos tecidos havendo uma tendência de lenta, porém contínua diminuição em abóboras da variedade Cabotiá e Regional.

Tabela 6.5 – Acidez total titulável das amostras de abóbora embaladas

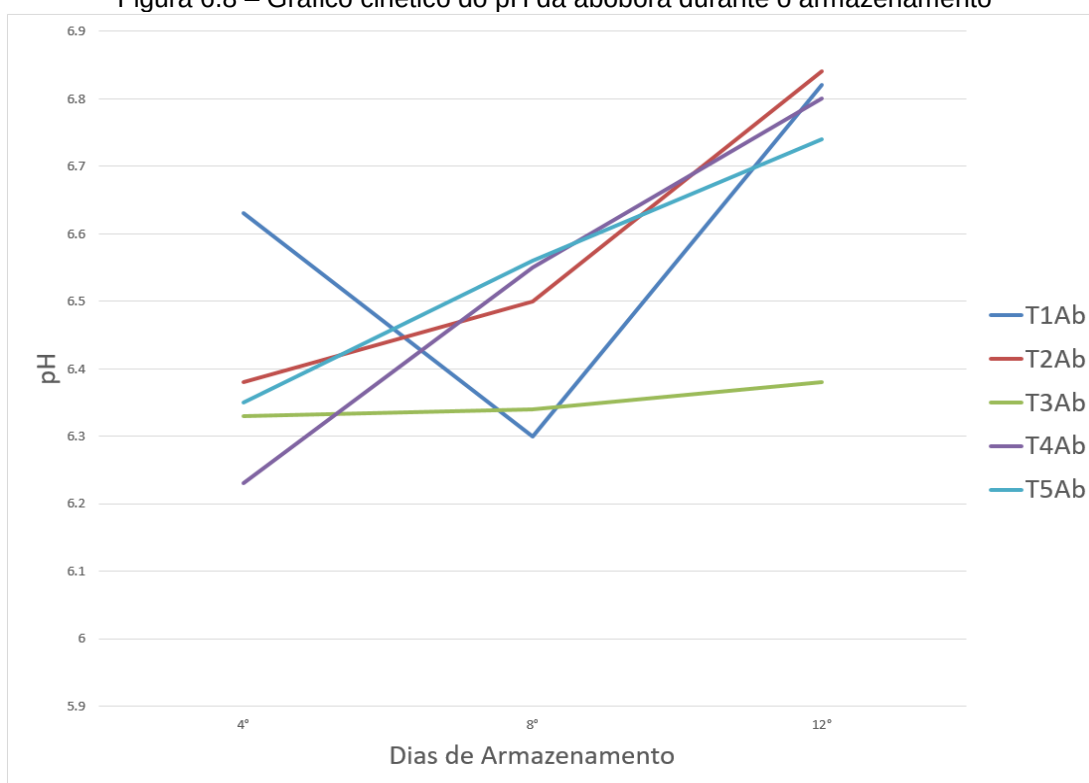
Amostras	Acidez total titulável (% de ácido málico)		
	4° dia	8° dia	12° dia
T1Ab	0,17 ^{ab} ± 0,01	0,31 ^a ± 0,03	0,34 ^a ± 0,13
T2Ab	0,15 ^b ± 0,01	0,30 ^a ± 0,03	0,24 ^a ± 0,01
T3Ab	0,14 ^b ± 0,01	0,26 ^a ± 0,00	0,27 ^a ± 0,01
T4Ab	0,15 ^b ± 0,01	0,25 ^a ± 0,01	0,30 ^a ± 0,03
T5Ab	0,21 ^a ± 0,01	0,25 ^a ± 0,01	0,27 ^a ± 0,01

* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0,05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. T1Ab: Embalagem ativa controle; T2Ab: Embalagem ativa com zeólita; T3Ab: Embalagem ativa com ferro; T4Ab: Embalagem ativa com óleo essencial de tomilho; T5Ab: Embalagem ativa com tocoferol. n=3.

6.3.4 pH

A variação de pH perceptível em gráfico cinético revela uma tendência de aumento do pH (Figura 6.11), com todos as análises de pH seguindo um padrão comum. As variações corroboram com a ausência de na alteração de pH de abóbora minimamente processada e armazenada. Estudo que analisou abóboras da variedade Cabotia e Regional por 12 dias sob 10°C constatou a ausência de alterações relevantes durante o decorrer do experimento (Lima *et al.*, 2019).

Figura 6.8 – Gráfico cinético do pH da abóbora durante o armazenamento



n=1. Legenda: T1Ab – Sem ingrediente ativo; T2Ab – Óxido de ferro; T3Ab – Zeólita; T4Ab – Óleo essencial de tomilho; T5Ab - α -tocoferol. Fonte: O autor.

6.3.5 Umidade

A umidade das abóboras (Tabela 6.6) revelaram valores significativamente superior para o tratamento Controle (T1Ab) e com óleo essencial de tomilho (T4Ab) no 4° dia e para o tratamento com óxido de ferro (T3Ab) ao 8° dia.

Tabela 6.6 – Umidade das amostras de abóbora embaladas

Amostras	Umidade (%) durante o armazenamento		
	4° dia	8° dia	12° dia
T1Ab	90,18 ^a ± 1,41	87,84 ^{ab} ± 0,36	87,87 ^a ± 0,93
T2Ab	88,44 ^{ab} ± 1,26	86,43 ^b ± 0,99	98,10 ^a ± 1,42
T3Ab	86,23 ^b ± 2,25	90,49 ^a ± 1,08	89,09 ^a ± 0,90
T4Ab	90,12 ^a ± 1,12	88,24 ^{ab} ± 1,80	87,20 ^a ± 1,19
T5Ab	87,25 ^{ab} ± 0,50	88,83 ^{ab} ± 0,97	87,27 ^a ± 0,43

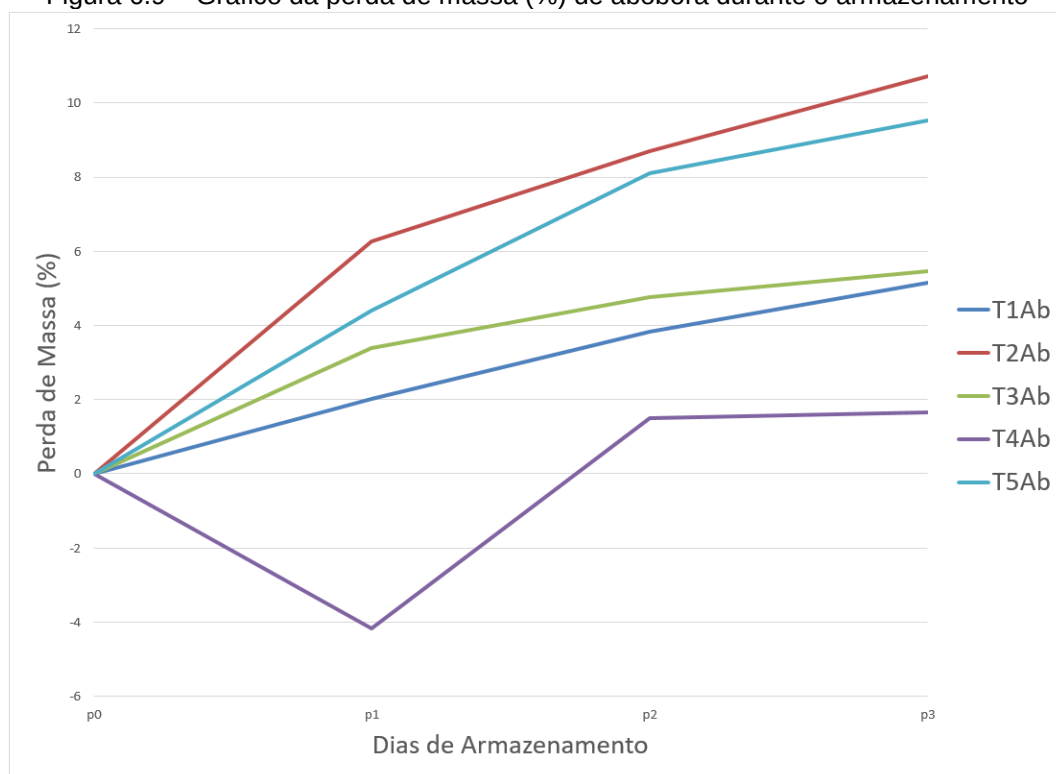
* Os resultados foram expressos como: média ± desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. T1Ab: Embalagem ativa controle; T2Ab: Embalagem ativa com zeólita; T3Ab: Embalagem ativa com ferro; T4Ab: Embalagem ativa com óleo essencial de tomilho; T5Ab: Embalagem ativa com tocoferol. $n=3$.

Entende-se que a efetividade do óxido de ferro não corrobora em ação direta no acúmulo de umidade. Apontam para o potencial de redução na deterioração via a capacidade do ferro em absorver o oxigênio e evitar a oxidação no tecido do alimento (Dey; Neogi, 2019).

6.3.6 Perda de Massa

A perda de massa em função do tempo de armazenagem da abóbora sob diferentes embalagens ativas foi plotada em gráfico cinético, em porcentagem de perda da massa (Figura 6.12). Todos os tratamentos apresentaram tendência de perda de massa, para a amostra Controle o menor percentual de perda de massa foi observado. Nota-se que a zeólita (T3Ab) e o tocoferol (T5Ab) apresentaram as maiores perdas percentuais de massa durante o armazenamento. O óleo essencial de tomilho (T4Ab) apresentou variação negativa de perda de massa, o que indica ganho de massa durante a avaliação. Que ainda contribuiu para a absorção de umidade do ambiente pela embalagem.

Figura 6.9 – Gráfico da perda de massa (%) de abóbora durante o armazenamento



n=1. Legenda: T1Ab – Sem ingrediente ativo; T2Ab – Óxido de ferro; T3Ab – Zeólita; T4Ab – Óleo essencial de tomilho; T5Ab - α -tocoferol.

Fonte: O autor.

6.3.7 Amolecimento

Para a avaliação de amolecimento das fatias, algumas tendências foram observáveis (Quadro 6.2). O tratamento com tocoferol (T5Ab) e zeólita (T3Ab) demonstraram amolecimento constante, com o Controle (T1Ab) apresentando comportamento semelhante. O óxido de ferro (T2Ab) e o óleo essencial (T4Ab) apresentaram os melhores resultados em termos do amolecimento perceptível subjetivamente pelo avaliador.

Nessa categoria de avaliação todas as abóboras minimamente processadas no mesmo dia e apresentando os mesmos índices de amolecimento, tiveram amolecimento muito avançado no 16º dia, não havendo viabilidade comercial e já em elevado estado de deterioração.

Quadro 6.2 – Avaliação visual do nível de amolecimento perceptível em abóbora durante o armazenamento avaliado sob escala subjetiva

	T1Ab	T2Ab	T3Ab	T4Ab	T5Ab
1°	1	1	1	1	1
4°	2	2	1	1	2
8°	2	3	2	1	3
12°	3	4	2	2	4
16°	5	5	5	5	5

*Notas: 1 – Muito firme; 2 – Firme; 3 – Razoavelmente firme; 4 – Amolecido; 5 – Muito amolecido. Os resultados foram expressos como: média $\pm$ desvio padrão. As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna não apresentam diferença significativa (teste de Tukey. $p < 0.05$), sendo a letra minúscula referente a colunas. T1Ab: Embalagem ativa controle; T2Ab: Embalagem ativa com zeólita; T3Ab: Embalagem ativa com ferro; T4Ab: Embalagem ativa com óleo essencial de tomilho; T5Ab: Embalagem ativa com tocoferol. n=3.

O óleo essencial de tomilho demonstrou uma escalada de amolecimento menos drástica quando comparada aos demais, além de uma perda de massa negativa que pode sugerir possível ganho de água. Os óleos essenciais, de maneira geral, agregam em um aprimoramento da tecnologia de barreira mitigando a deterioração física do alimento (Sharma *et al.*, 2021).

É possível inferir que o ingrediente de caráter oleoso permaneceu na embalagem e em virtude de seu caráter hidrofóbico prejudicou a passagem de umidade pela matriz polimérica, havendo menor perda de massa e maior turgidez ao produto.

Tal estado de amolecimento das amostras de abóbora ao 16º dia demonstram que em adjunto com a deterioração total das abóboras e inviabilidade de análise destas ocorreu a solubilização das embalagens e comprometido quando as hortaliças adentram em estágio avançado de deterioração (Figura 6.10).

A conjuntura das avaliações demonstrou que as embalagens biodegradáveis ativas são promissoras devido aos efeitos advindos da gama de ingredientes ativos embutidos em formulações. quando comparadas ao uso de filme biodegradável de amido contendo ingredientes ativos acoplado ao plástico convencional de embalagens de poliestireno para abóbora (Camargo, 2020).

Figura 6.10 – Embalagem e abóbora no 16º dia de armazenamento



Fonte: O autor.

6.4 CONCLUSÃO

As boas práticas adotadas durante a produção, colheita e pós-colheita da abóbora garantiram de que a hortaliça avaliada não passasse por prejuízos que exercessem efeito deletério em sua qualidade comercial, garantido um produto que pode chegar na pós-colheita sob excelentes condições para armazenamento. Mediante os resultados obtidos, o tratamento contendo α -tocoferol demonstrou-se mais eficiente na embalagem de abóbora minimamente processada, havendo valores de firmeza superiores quando comparados aos outros tratamentos.

Para a aplicação de α -tocoferol, percebeu-se que a superioridade dos valores de luminosidade e o parâmetro a^* , de croma inferior e mais distante do croma alaranjado forte característico da abóbora de pescoço indicam, respectivamente, redução do escurecimento de polpa e menor matiz do tom alaranjado característico do hortifrúti quando muito amadurecido.

Tratamentos contendo óleo essencial de tomilho e pelo óxido de ferro mostraram maiores valores de umidade, além de apresentarem amolecimento perceptível na avaliação subjetiva em um menor progressão. O óleo essencial de tomilho também apresentou o menor percentual de perda de massa quando comparado aos outros tratamentos. A formulação estipulada não conseguiu manter a consistência inicial do bioplástico no início da embalagem, devido a sensibilidade do amido e das fibras lignocelulósicas do bagaço de malte à água.

A embalagem biodegradável mostrou-se promissora para acondicionamento de aboboras minimamente processadas por 15 dias, a qual pode ser melhorada considerando modificações nas formulações.

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 COMENTÁRIO SOBRE AS CONCLUSÕES

As discussões e observações que permitiram que as conclusões apontassem para respostas concretas e horizontes futuros, foram tornadas possíveis mediante a maneira heterodoxa na condução do trabalho da tese. As conclusões possuem caráter inovador no mundo científico, uma vez que embalagens biodegradáveis contendo ingredientes ativos em sua formulação configuram uma alternativa bioplástica em um mundo onde existe a necessidade da formação de cadeias alimentares sustentáveis.

O capítulo 2 fundamentou a justificativa que qualificou o bioplástico desenvolvido como sustentável e de qualidade compatível para as finalidades por hora teorizadas na pós-colheita. Os resultados comprovaram que o material é mecanicamente apto para ser aplicado em embalagens, apresentando maleabilidade e dureza desejadas, além de capacidade de biodegradação e facilmente atingível por meio de encaminhamento do material para compostagem simples.

O capítulo 3 com mirtilos tratados com óleo essencial de menta em embalagens convencionais de plástico demonstrou sensíveis alterações nos parâmetros de sólidos solúveis e acidez total titulável, observadas nos frutos tratados com tal ingrediente ativo, havendo uma caracterização complexa do perfil aromático da fruta e do óleo essencial utilizado. Destaca-se em específico a etapa de uso da técnica de cromatografia gasosa por elucidar indícios científicos da presença do óleo essencial e duas naturezas de embalagens distintas mesmo após o armazenamento prolongado da fruta sob refrigeração.

No capítulo 4, ameixas estocadas em refrigeração receberam um tratamento contendo um veículo bioplástico contendo óleo essencial de menta em sua formulação, a fim de se entender como tal material ativo influenciaria na armazenagem da fruta, além de um tratamento alternativo levando o uso da tecnologia de recobrimento filmogênico, a fim de se poder comparar com um tratamento já muito analisado na bibliografia. O tratamento com óleo essencial de menta agregou em benefícios à conservação da luminosidade, aumento intermediário da firmeza e a mitigação de índices que indicam maturidade, tais como a acumulação de sorbitol e

cores de polpa tendendo mais ao verde do que cores de amarelo e vermelho. O ataque fúngico ao veículo biodegradável durante a armazenagem da ameixa não impediu totalmente que o óleo essencial agisse, demonstrando que mesmo o efeito residual dos ingredientes ativos é capaz de surtir efeitos no tratamento.

Já no capítulo 5, tem-se o uso de uma embalagem biodegradável como base para frutas de amora, a fim de entender o comportamento do material criado em contato com a fruta em armazenamento refrigerado comercial. Observou-se que o uso de bandejas biodegradáveis de amido associado com bagaço de malte proporcionou menor perda de massa quando comparado a formulação apenas com amido de mandioca e que a possibilidade de emprego na conservação de hortifrúti é viável.

Finalmente, o Capítulo 6 cumpre o objetivo de tornar viável uma base biodegradável ativa, avaliando distintos ingredientes ativos além do óleo essencial. Dos ingredientes ativos integrados a embalagem, o óleo essencial de tomilho e o óxido de ferro proporcionaram melhor conservação da umidade das fatias de abóboras, além de mitigar o amolecimento perceptível do produto perecível durante todo o armazenamento. O α -tocoferol proporcionou conservação de cores do alimento minimamente processado mediante os parâmetros avaliados da colorimetria.

Ao final dos experimentos dos capítulos 5 e 6, observa-se que ambas as bases bioplásticas empregadas nos experimentos (não ativas e ativas) apresentavam alguns indícios de solubilização devido aos índices de apodrecimento e amolecimento em amora (devido a senescência inerente aos frutos). Ainda que isso só ocorra quando o produto fica inviabilizado comercialmente, tal ocorrência prejudica o devido manuseio, ainda que não tenha havido nenhum prejuízo durante o tempo decorrido do estudo.

O conjunto de discussões levantadas aponta para um horizonte benéfico e de saldo positivo, onde o emprego desta tecnologia em especial para frutos e hortaliças de diversas naturezas, especialmente aqueles com menor propensão de emitir líquidos durante a armazenagem.

7.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

O bom desempenho do α -tocoferol nas bases de embalagens biodegradáveis ativas (Capítulo 6) indica benefícios a serem avaliados. O gargalo apontado nas dificuldades de se reciclar material cumulativo bioplástico em aterros pode ser

mitigado mediante o emprego de material com vida útil reduzida e de fácil degradação. É de suma importância a colocação e a ponderação de que o emprego de materiais bioplásticos deve estar acompanhado do conhecimento sobre o manejo do fim de ciclo do produto e em como manejar o descarte de tais materiais.

A apropriada otimização das vias de descarte do lixo bioplástico é fundamental para maximizar uma economia circular da matéria-prima virgem de forma inteligente (Bartolucci *et al.*, 2023). O comportamento do bioplástico à base de amido e associado com bagaço de malte apresenta aspecto passível de utilização prática e apresentou-se como de simples degradação quando inserido em processo de compostagem. Ainda assim, não se tem literatura produzida pertinente aos efeitos ou dificuldades que podem surgir mediante a larga deposição de resíduos bioplásticos derivados do amido (Mastrolia *et al.*, 2022), sendo uma recomendação experimentos *a posteriori* que contemplem condições heterogêneas na avaliação do lixo bioplástico amiláceo.

É importante destacar que a literatura pondera que ao que tudo indica, quaisquer danos ou problemas provenientes da poluição advinda da acumulação em grande quantidade de bioplásticos advindos de fontes biológicas e não baseados em petróleo, tende a ser muito menor comparável aos problemas da já observada acumulação excessiva de plásticos convencionais advindos de matéria prima petrolífera (Censi *et al.*, 2022).

A produção de bioplásticos para aplicações comerciais já é realidade e possui aceitação por parte do público (Venkatesh *et al.*, 2021), contudo ainda almeja-se um maior acompanhamento no que tange o processo de “fim de vida” do vasto perfil dos materiais categorizados como bioplásticos, sendo portanto dentro do escopo da tese uma maior discussão sobre a vantagem demarcada pelo bioplástico de amido de mandioca associado com bagaço de malte ao apresentar viabilidade de degradação bem sucedida sob processo de compostagem.

A priori, a relevância das conclusões estabelecidas pertinentes a facilidade de degradação da alternativa biodegradável testada na tese devem ser exaltadas frente a constatação recente na literatura que indica as dificuldades que alguns materiais poliméricos biobaseados largamente empregados como o poli (3-hidróxibutirato) (PHB), o poli (ácido láctico) (PLA) e o póli-hidróxi-alcianoato (PHA) encontram em seu processo de reciclagem, havendo já o depósito destes em aterros (Censi *et al.*, 2022).

O investimento em infraestrutura capaz de mobilizar bioplásticos em compostagem

apresenta-se como uma alternativa eficaz (Zhu; Wang, 2020), sendo os resultados entendidos no trabalho um possível sinal verde para uma mobilização de esforços por parte da pesquisa em favorecimento de um material com características pertinentes à economia circular descrita na revisão literária, uma vez que o material integrado no trabalho evidencia sem sombra de dúvida um caráter verdadeiramente sustentável.

Tendo em vista o alto grau de inovação pertinente ao estudo da tecnologia de bioplásticos na indústria alimentícia, observa-se as conclusões preconizadas por Dutta e Sit (2023), onde o uso de extratos naturais em biomateriais para o controle da degradação de alimentos é de importância para a indústria de alimentos, desde que estes mantenham o caráter ecologicamente correto, viabilidade econômica, biocompatibilidade e não-toxidez ao consumidor do produto.

Considerando e respeitando as diretrizes ponderadas para a inovação segura e sustentável para bioplásticos ativos e a oportunidade de apresentar soluções inovadoras pertinentes a indústria de alimentos, empregou-se bases bioplásticas com o intuito de testá-las como agentes carreadores de ingrediente ativo. Testes pertinentes ao uso de embalagens ativas devem ser cautelosamente avaliados antes de suas implementações finais no mercado.

Parte do público consumidor tem se conscientizado sobre a importância da sustentabilidade. O empoderamento do consumidor aliado a valorização dos ideais estratégicos *ESG* (*Environment, Social and Governance*⁶), os quais tem sido discutidos no meio empresarial e envolvem a quebra da cultura conservadora em prol de um maior equilíbrio entre capitalismo e meio ambiente (Costa *et al.*, 2022).

Focando na problemática de fornecer os esclarecimentos para que uma embalagem possa ser comprovada como ambientalmente correta e tendo em vista que a rastreabilidade de produtos hortifrutigranjeiros apresenta vantagens e tem sido impulsionada por consumidores interessados na aplicação do conceito além de ainda estar se desenvolvendo, sugere-se que os próximos passos visem solidificar a segurança do alimento em conjunto com uma maior atenção ao monitoramento de resíduos agrotóxicos em alimentos vegetais (Ribeiro *et al.*, 2020).

Tendo em vista esse panorama, pode-se empregar etiquetas com código *QR Code* (*Quick Response Code*⁷), tecnologia essa aventada na bibliografia como suporte

⁶ Termo traduzido literalmente para o português significa "Meio Ambiente, Social e Governança".

⁷ Termo traduzido literalmente para o português significa "Código de Resposta Rápida".

ideal para a propulsão de vendas (Brooks *et al.*, 2019), com um código extra focado na rastreabilidade de produção da embalagem, facilitando inclusive o entendimento da origem do material e o seu sistema de produção.

Fazendo um paralelo com um modelo para a rastreabilidade de café proposto por Alamsyah *et al.* (2023), estruturar um código eletrônico capaz de assinar a criação do biomaterial (que no caso do trabalho supracitado, existe a proposta de uma rede de *blockchain*⁸) poderia levar o consumidor a informações como o ano de colheita (da mandioca) ou extração (do bagaço de malte) da matéria prima, espécies dos vegetais utilizados, localização geográfica dos materiais, certificados fitossanitários e resíduos agrotóxicos.

Entende-se aqui que aplicar os mesmos conceitos de rastreabilidade já debatidos e implementados no produto dentro da embalagem podem ser estendidos para a embalagem em si, uma vez que a mesma é derivada de produtos de origem vegetal e um dos motes principais do estudo conduzido é a sustentabilidade. Autores contemporâneos alertam que a expansão do conceito de *green label*, que classifica iniciativas pertinentes a rotulagens certificadas como sustentáveis demandará uma campanha em exposição para o público sobre o tema, criação de benefícios fiscais a empresas como incentivo a adoção da “rotulagem verde” além da criação de legislação robusta (Taşdemir; Çayırağasi, 2017).

Alguns dos desafios a serem enfrentados na possibilidade de cumprimento da medida são discutidos a rastreabilidade da indústria de manufatura, sendo esses desafios a alta quantidade de produtos, alto custos de implementação, processamento e confidencialidade de dados além de linhas de produção de alta velocidade (Schuitemaker; Xu, 2020). Estudos sobre como viabilizar um marketing verde seguro apontam que empresas e indústrias necessitam fornecer as informações exatas e corretas aos consumidores, havendo a necessidade sinérgica de que membros do legislativo consigam impor politicamente punições efetivas para possíveis fraudes que aleguem ser rótulos verdes (Shahrin *et al.*, 2017).

⁸ De acordo com Alves *et al.* (2018) *blockchain* diz respeito a uma tecnologia capaz de registrar transações de maneira que tal registro não possa ser adulterado posteriormente.

7.3 SÍNTESE INTEGRATIVA

O referencial teórico debateu acerca da sustentabilidade no mercado de embalagens. Constata-se que tal desenvolvimento tecnológico assuma a frente no mercado de vendas de produtos da olericultura e fruticultura. Tais produtos são de grande importância na saúde, economia e até história da população global, sendo o fornecimento de alimentos e a sustentabilidade do setor de embalagens duas questões correlatas e de importância mundial.

Os resultados da presente pesquisa cumpriram o objetivo principal, onde culminou no desenvolvimento de embalagens biodegradáveis. O uso de material bioplástico como veículo ativo em ameixa, base bioplástica substituta de isopor (bandeja) em amora e base bioplástica ativa em abóbora minimamente processada incorreu em uma multitude de benefícios, onde a crescente complexidade por cada etapa do estudo resultou em benefícios quantificáveis e passíveis de verificação.

Além do mais, a análise da base biodegradável aplicável em hortifrúti apresentou viabilidade de aplicação ao ser validado como biodegradável e apresentar qualidade mecânica para trabalho, abrindo margem para a discussão dos desdobramentos que o uso da mesma pode influenciar de maneira prática no meio científico e industrial.

Novas perspectivas e horizontes levantados demonstram que a implementação em larga escala da técnica de embalagem apresentada acarretará em um favorecimento dos objetivos de uma economia rentável e sustentável. Faz-se imprescindível o estudo continuado sobre possíveis efeitos positivos e negativos que o material pode exercer em alimentos, além de análises focadas no aperfeiçoamento do conjunto tecnológico envolvido na formulação da embalagem.

REFERÊNCIAS

- ABBASZADEH, S. *et al.* Antifungal efficacy of thymol, carvacrol, eugenol and menthol as alternative agents to control the growth of food-relevant fungi. **Journal de Mycologie Médicale**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. e51–e56, 2014.
- ABE, Mateus Manabu *et al.* Advantages and disadvantages of bioplastics production from starch and lignocellulosic components. **Polymers**, [s. l.], v. 13, n. 15, p. 25, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/15/2484>. Acesso em: 24 nov. 2024.
- ABNT. **NBR13591 de 03/1996**. [S. l.], 1996. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/10073/nbr13591-compostagem-terminologia>. Acesso em: 31 out. 2024.
- ABRAMOVAY, Ricardo. Inequalities and limits should be at the core of Rio+20. **Estudos Avançados**, [s. l.], v. 26, n. 74, p. 21–33, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/ea/v26n74/en_a03v26n74.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.
- ACUÑA, John Fabio; VARGAS, Jessica; VERGARA, Manuel Fernando. Physicochemical characteristics of blackberry (*Rubus glaucus* Benth.) fruits from four production zones of Cundinamarca, Colombia. **Agronomia Colombiana**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 336–345, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v34n3/0120-9965-agc-34-03-00336.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.
- ADHIKARI, Achyut; KHAREL, Karuna; FONTENOT, Katheryn. **Wash Water Chlorine Disinfection: Best Practices to Ensure On-Farm Food Safety**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.lsuagcenter.com/articles/page1561146897345#:~:text=Do not wash or disinfect,chances of post-harvest decay>. Acesso em: 7 out. 2020.
- ADNAN, Nor Atika *et al.* Effect of Polyvinyl Alcohol on Cassava and Potato Starch Plastic Film: Mechanical, Thermal and Swelling Properties. **Enhanced Knowledge in Sciences and Technology**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 460–471, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.30880/ekst.2023.03.02.052>. Acesso em: 24 nov. 2024.
- AHARONI, Asaph *et al.* Identification of the SAAT Gene Involved in Strawberry Flavor Biogenesis by Use of DNA Microarrays. **The Plant Cell**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 647–661, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/30489044_Identification_of_the_SAAT_Gene_Involved_in_Strawberry_Flavor_Biogenesis_by_Use_of_DNA_Microarrays. Acesso em: 24 nov. 2024.
- AHSAN, Wazir Aitizaz *et al.* Biodegradation of Different Types of Bioplastics through Composting—A Recent Trend in Green Recycling. **Catalysts**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 294, 2023.
- AL-HASSAN, A. A.; NORZIAH, M. H. Effect of transglutaminase induced crosslinking on the properties of starch/gelatin films. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 13, n. October 2016, p. 15–19, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.04.006>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ALAMSYAH, Andry *et al.* Blockchain traceability model in the coffee industry. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 100008, 2023.

ALI, Liaqat *et al.* Late season harvest and storage of Rubus berries-Major antioxidant and sugar levels. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 129, n. 3, p. 376–381, 2011.

ALIYU, Salihu; BALA, Muntari. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. **African Journal of Biotechnology**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 324–331, 2011.

ALMENAR, Eva *et al.* Postharvest shelf life extension of blueberries using a biodegradable package. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 110, n. 1, p. 120–127, 2008.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814608001581>. Acesso em: 8 fev. 2023.

ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ, Marianela Hazel *et al.* Development of an antifungal active packaging containing thymol and an ethylene scavenger. Validation during storage of cherry tomatoes. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 29, p. 100734, 2021.

ALVES, Paulo Henrique *et al.* Desmistificando Blockchain: Conceitos e Aplicações.

In: MACIEL, C.; VITERBO, J. (org.). **Computação e Sociedade**. 1. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2018. p. 166–197. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/327060805_Desmistificando_Blockchain_Conceitos_e_Aplicacoes. Acesso em: 24 nov. 2024.

AMARAL, Murilo Alves do; BORSCHIVER, Suzana; MORGADO, Cláudia do Rosário Vaz. Análise do segmento de bioplásticos: prospecção tecnológica em “plásticos verdes”, PHA e PLA. **Engevista**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 228–241, 2019.

AMARO, G. B. *et al.* **Recomendações técnicas para o cultivo de abóbora híbrida do tipo japonesa**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1007683>. Acesso em: 24 nov. 2024.

AMEEN, Ayesha; RAZA, Shahid. Green Revolution: A Review. **International Journal of Advances in Scientific Research**, [s. l.], v. 3, n. 12, p. 129–137, 2017.

Disponível em: <https://doi.org/10.7439/ijasr.v3i12.4410>. Acesso em: 24 nov. 2024.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D1653-13 - Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Organic Coating Films**. West Conshohocken, 2013.

AMIN, Md Ruhul; CHOWDHURY, Mohammad Asaduzzaman; KOWSER, Md Arefin. Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. **Heliyon**, [s. l.], v. 5, n. 8, 2019.

AMIRI, Azam *et al.* Fabrication of the antimicrobial sachet by encapsulation of peppermint essential oil in active packaging of strawberry fruit. **Journal of Food Processing and Preservation**, [s. l.], v. 46, n. 5, p. e17181, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/363533415_Fabrication_the_Antimicrobial_Sachet_by_Encapsulation_of_Peppermint_Essential_Oil_in_Active_Packaging_of_Strawberry_Fruit. Acesso em: 24 nov. 2024.

ANDRIANI, Vika; HANDAYANI, Noer Abyor. Recent technology of edible coating production: A review. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 87, p. 200–206, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323009604>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ANESE, Rogério de Oliveira; FRONZA, Diniz. **Fisiologia Pós-Colheita em Fruticultura**. 1. ed. Santa Maria: Colégio Politécnico UFSM, 2015. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/16_fisiologia_pos_colheita.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

ANTUNES, Luís Eduardo Corrêa. Amora-Preta: Nova Opção De Cultivo No Brasil. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 151–158, 2002.

ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa. Introdução. *In*: ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa; RASSEIRA, Maria do Carmo Bassols (org.). **Aspectos Técnicos da Cultura da Amora-preta Documentos 122**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 11–12. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/32426/1/documento-122.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ANTUNES, Luís Eduardo Corrêa *et al.* Produção de amoreira-preta no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 100–111, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbf/v36n1/v36n1a12.pdf>.

ANTUNES, L. E. C. *et al.* A cultura do mirtilheiro. *In*: KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L.; PELIZZA, T. R. (org.). **Pequenas frutas**. 1. ed. Florianópolis: In: KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L.; PELIZZA, T. R. (Org.) Pequenas frutas. Florianópolis: UDESC, 2013. 194 p., 2017. v. 1, p. 15–51. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/983094>. Acesso em: 6 fev. 2023.

ANTUNES, L. E. C.; CHALFUN, N. N. J.; REGINA, M. de A. Fenologia e produção de variedades de amora-preta nas condições do planalto de Poços de Caldas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 89–95, 2000.

APARECIDO, Lucas Eduardo de Oliveira *et al.* Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Ciencia e Agrotecnologia**, [s. l.], v. 40, n. 4, p. 405–417, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-70542016404003916>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ARIK, Kibar E. Aytunga; US, Ferhunde. Evaluation of structural properties of cellulose ether-corn starch based biodegradable films. **International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials**, [s. l.], v. 63, n. 7, p. 342–351, 2014.

ARNOLD, Marcellus; GRAMZA-MICHAŁOWSKA, Anna. Enzymatic browning in apple products and its inhibition treatments: A comprehensive review.

Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, [s. l.], v. 21, n. 6, p. 5038–5076, 2022. Disponível em:

<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1541-4337.13059>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ASCENCIO-ARTEAGA, Alessandrina *et al.* Shelf Life of Blackberry Fruits (*Rubus fruticosus*) with Edible Coatings Based on Candelilla Wax and Guar Gum.

Horticulturae, [s. l.], v. 8, n. 7, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/7/574>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ASROFI, Mochamad *et al.* Isolation of Nanocellulose from Water Hyacinth Fiber (WHF) Produced via Digester-Sonication and Its Characterization. **Fibers and Polymers**, [s. l.], v. 19, n. 8, p. 1618–1625, 2018.

ASSIS, Odilio Benedito Garrido; BRITTO, Douglas de. Revisão: coberturas comestíveis protetoras em frutas: fundamentos e aplicações. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 87–97, 2014.

ASTM. **American Society for Testing and Materials. D 882-02: Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**. West Conshohocken: [s. n.], 2002.

ASTM E 95-96. **Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials (E96-E95)**. [S. l.], 1995.

ATALANIO, Manuella; IBIAPINA, Helaine; MACHADO, Thales. A economia circular como modelo de desenvolvimento sustentável. **Revista de Direito, Economia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 147–167, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/363161479_A_economia_circular_como_modelo_de_desenvolvimento_sustentavel. Acesso em: 24 nov. 2024.

AVÉROUS, L. Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: A review. **Journal of Macromolecular Science Part C – Polymer Reviews**, [s. l.], v. C44, n. 3, p. 231–274, 2004.

ÁVILA, Jonatan A. Toscano *et al.* Shelf life estimation of Blackberry (*Rubus glaucus* Benth) with bacterial cellulose film coating from *Komagataeibacter xylinus*. **Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 2173–2179, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/fsn3.1525>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BACHMANN, Janet; ADAM, Katherine L. **Organic Pumpkin and Winter Squash Marketing and Production**. [S. l.]: NCAT, 2010. Disponível em: www.attra.ncat.org/attrapub/PDF/pumpkin.pdf. Acesso em: 1 out. 2020.

BAKKALI, F *et al.* Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 446–475, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691507004541>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BALKEES, Basem Mahmoud *et al.* Effect of Temperature and 1-Methylcyclopropene on the Storability of 'Alexander Lucas' Pear. **Revista Caatinga**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 216–222, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n122rc>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BALLA, Csaba; FARKAS, Jozsef. Minimally Processed Fruits and Fruit Products and Their Microbiological Safety. *In*: HUI, Y. H. *et al.* (org.). **Handbook of Fruits and Fruits Processing**. 1. ed. Danvers: Blackwell Publishing Ltd., 2006. v. 4, p. 697. Disponível em: <https://frutvasf.univasf.edu.br/wp-content/uploads/2022/06/fruits.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BAN, Yusuke *et al.* Emitted and endogenous volatiles in "Tsugaru" apple: The mechanism of ester and (E,E)- α -farnesene accumulation. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 118, n. 2, p. 272–277, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814609005925>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BANZATTO, David A.; KRONKA, Sérgio do N. **Experimentação Agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Fundação de Apoio a Pesquisa, Ensino e Extensão, 2006.

BARÃO, Mariana Zanon. **Embalagens para produtos alimentícios**. [S. l.], 2011. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/centro-universitario-geral-do-di-biase/resmat-l/nty0mq-121509-feio/33110240>. Acesso em: 31 out. 2024.

BARBIERI, Rosa Lía. **A diversidade de abóboras no Brasil e sua relação histórica com a cultura**. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/918029/1/15423.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2020.

BARTOLUCCI, Lorenzo *et al.* Sustainable Valorization of Bioplastic Waste: A Review on Effective Recycling Routes for the Most Widely Used Biopolymers. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 24, n. 9, 2023.

BASIAK, Ewelina *et al.* Dynamic behaviour of starch-based coatings on fruit surfaces. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], v. 147, n. June 2018, p. 166–173, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.020>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BASSOLS, Maria do Carmo; RASEIRA, Alverides Machado Santos; ROSA, Lia Barbieri. Classificação botânica, origem e cultivares. *In*: ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa; RASSEIRA, Maria do Carmo Bassols (org.). **Aspectos Técnicos da Cultura da Amora-preta Documentos 122**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 17–20. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/32426/1/documento-122.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BATISTA, Ellenristina da Silva; COSTA, André Gustavo Vasconcelos; PINHEIRO-SANT'ANA, Helena Maria. **Adição da vitamina E aos alimentos: implicações para os alimentos e para a saúde humana**. [S. l.], 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rn/a/7svXx6XyTHW7vPPDJRtWcvL/#>. Acesso em: 31 out. 2024.

BAZTAN, J. *et al.* Breaking Down the Plastic Age. **Fate and Impact of Microplastics in Marine Ecosystems**, [s. l.], n. January, p. 177–181, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312009814_Breaking_Down_the_Plastic_Age. Acesso em: 24 nov. 2024.

BEMILLER, James N.; HUBER, Kerry C. Physical modification of food starch functionalities. **Annual Review of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 6, p. 19–69, 2015.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette. The politics of buzzwords at the interface of technoscience, market and society: The case of “public engagement in science”. **Public Understanding of Science**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 238–253, 2014.

BERNARDI, João; HOFFMANN, Alexandre. **Ameixa européia: nova alternativa à produção de frutas em regiões frias**. [S. l.]: Jornal da Fruta, 2005. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/200489/1/11220-2005-p.16.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BERNARDI, João; HOFFMANN, Alexandre. Sistema de Produção de Ameixa Européia. **Jornal da Fruta**, Lages, p. 1–20, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/543910>. Acesso em: 8 fev. 2023. Acesso em: 24 nov. 2024.

BERTOLDI, M de; VALLINI, G; PERA, A. The biology of composting: A review. **Waste Management & Research**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 157–176, 1983. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0734242X83900551>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BERUTER, J.; FEUSI, M. E.S. The effect of girdling on carbohydrate partitioning in the growing apple fruit. **Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 151, n. 3, p. 277–285, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161797802532>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BHARDWAJ, D R *et al.* **Advance Production Technology of Gourds**. 73. ed. Varanasi: ICAR - Indian Institute of Vegetable Research, 2017.

BIRWAL, Preeti; SINGHAM, Pragati; PATEL, Saurabh. Plums: A Brief Introduction. **Journal of Food, Nutrition and Popular Health**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1–5, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316514807_Plums_A_Brief_Introduction. Acesso em: 24 nov. 2024.

BOF, María Julieta *et al.* Bio-Packaging Material Impact on Blueberries Quality Attributes under Transport and Marketing Conditions. **Polymers** 2021, Vol. 13, Page 481, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 481, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/4/481/htm>. Acesso em: 8 fev. 2023.

BOMTEMPO, José Vitor. **O futuro dos biocombustíveis XVIII: Os dilemas dos produtos na bioeconomia.** [S. l.], 2013. Disponível em: <https://infopetro.wordpress.com/2013/08/26/o-futuro-dos-biocombustiveis-xviii-os-dilemas-dos-produtos-na-bioeconomia/>. Acesso em: 30 nov. 2020.

BOTH, Vanderlei *et al.* Effect of storage under extremely low oxygen on the volatile composition of “Royal Gala” apples. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 156, p. 50–57, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814614001265>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BOTREL, D. A. *et al.* Revestimento ativo de amido na conservação pós-colheita de pera Williams minimamente processada. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 40, n. 8, p. 1814–1820, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010000800023>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BRAGA, Ataulpa A.C.; MORGON, Nelson H. Descrições estruturais cristalinas de zeólitos. **Química Nova**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 178–188, 2007.

BRANDON, Jennifer A.; JONES, William; OHMAN, Mark D. Multidecadal increase in plastic particles in coastal ocean sediments. **Science Advances**, [s. l.], v. 5, n. 9, p. 1–7, 2019.

BRECHT, Jeffrey K. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. *In*: GROSS, Kenneth C.; WANG, Chien Yi; SALTVEIT, Mikal (org.). **Agriculture Handbook**. 1. ed. [S. l.]: United States Department of Agriculture, 2016. p. 780. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/oc/np/CommercialStorage/CommercialStorage.pdf%0Ahttp://link.springer.com/10.1007/978-1-4613-1127-0>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BRODY, A. L.; STRUPINSKY, E. P; KLINE, L. R. **Active packaging for food applications**. Lancaster: CRC Press, 2001.

BROOKS, John R. Jr. *et al.* Revisiting Quick Response (QR) Code Technology: Corporate Perspectives. **International Journal of Mobile Communications**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 1, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330045702_Revisiting_Quick_Response_QR_Code_Technology_Corporate_Perspectives. Acesso em: 24 nov. 2024.

CAI, Xinyu *et al.* Underlying mechanism of menthol on controlling postharvest citrus sour rot caused by *Geotrichum citri-aurantii*. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], v. 196, p. 112160, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521422003283>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CAICEDO, Carolina *et al.* Effect of Plasticizer Content on Mechanical and Water Vapor Permeability of Maize Starch/PVOH/Chitosan Composite Films. **Materials**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 1274, 2022.

CALLAPEZ, Maria Elvira. History of the beginnings of the plastics industry in Portugal. **ChemTexts**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 1–17, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40828-021-00134-1>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CAMARGO, Giovani Almeida. **Desenvolvimento e potencial de utilização de embalagens ativas biodegradáveis em hortaliças minimamente processadas**. 2020. 136 f. - UEPG, Ponta Grossa, 2020.

CANEVAROLO, Sebastião V. Jr. **Ciência dos Polímeros**. 3. ed. São Paulo: Artliber/ABPol, 2013.

CANTILLANO, R. F. F.; COUTINHO, E. F. Conservação pós-colheita. In: ANTUNES, L. E. C.; RASEIRA, M. do C. B. (org.). **Cultivo do mirtilo (*Vaccinium spp*)**. 8. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. p. 84–92. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/745223>. Acesso em: 31 out. 2024.

CANTWELL, Marita; SUSLOW, Trevor V. **Pumpkin & Winter Squash**. [S. l.], 1998. Disponível em: <http://postharvest.ucdavis.edu/files/259454.pdf>. Acesso em: 29 set. 2020.

CASTRO, Josué de. **Geografia da fome: O dilema brasileiro: pão ou aço**. 1. ed. São Paulo: Todavia, 2022. Disponível em: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:geografia+da+fome#4>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CASTRO, Thais Hessab Moreira de. **OS BIOPLÁSTICOS: IMPACTOS AMBIENTAIS E PERSPECTIVAS DE MERCADO**. 2019. 72 f. - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [s. l.], 2019.

CAVALCANTE, Zedequias Vieira; SILVA, Mauro Luis Siqueira da. **A Importância da Revolução Industrial no Mundo da Tecnologia**. Maringá, 2011. Disponível em: https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2011/wp-content/uploads/sites/86/2016/07/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf. Acesso em: 1 nov. 2024.

CENSI, Valentina *et al.* Bioplastics: A new analytical challenge. **Frontiers in Chemistry**, [s. l.], v. 10, n. September, p. 1–8, 2022.

CHALMIN, Philippe. The history of plastics: From the capitol to the tarpeian rock. **Field Actions Science Report**, [s. l.], v. 2019, n. Special Issue, p. 6–11, 2019.

CHANG, Y. P.; ABD KARIM, A.; SEOW, C. C. Interactive plasticizing-antiplasticizing effects of water and glycerol on the tensile properties of tapioca starch films. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 1–8, 2006.

CHARLES, F; SANCHEZ, J; GONTARD, N. Active Modified Atmosphere Packaging of Fresh Fruits and Vegetables: Modeling with Tomatoes and Oxygen Absorber. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 68, n. 5, p. 1736–1742, 2003. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12321.x>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CHBIB, Hani *et al.* The Future of Biodegradable Plastics from an Environmental and Business Perspective. **Modern Approaches on Material Science**, [s. l.], v. 1, 2, n. February, p. 43–48, 2019.

CHEZINI, Amanda. **BAGAÇO DE AMORA (*Rubus spp.*) E SUA APLICAÇÃO EM MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE AMIDO**. 2022. 81 f. - Universidade Estadual de Ponta Grossa, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3798>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CHOI, Woo Suk; SINGH, Suman; LEE, Youn Suk. Characterization of edible film containing essential oils in hydroxypropyl methylcellulose and its effect on quality attributes of “Formosa” plum (*Prunus salicina* L.). **Lwt**, [s. l.], v. 70, p. 213–222, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643816301153>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CHOMICKI, Guillaume; SCHAEFER, Hanno; RENNER, Susanne S. Origin and domestication of Cucurbitaceae crops: insights from phylogenies, genomics and archaeology. **New Phytologist**, [s. l.], v. 226, n. 5, p. 1240–1255, 2020. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/nph.16015>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CHRISTWARDANA, Marcelinus; ISMOJO; MARSUDI, Sidik. Biodegradation Kinetic Study of Cassava & Tannia Starch-Based Bioplastics as Green Material in Various Media. **Molekul**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 19–29, 2022.

CHU, Chee Chin *et al.* Review article vitamin E: a multi-functional ingredient for health enhancement and food preservation. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s. l.], v. 17, n. 6, p. 6144–6156, 2023.

CICHELO, Simon Angelo. Oxygen absorbers in food preservation: a review. **Journal of Food Science and Technology**, India, v. 52, n. 4, p. 1889–1895, 2015. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4375217/#:~:text=The ferrous iron based oxygen,separately from the food product>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CLARK, John; FINN, Chad. Blackberry breeding and genetics. **Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology**, [s. l.], v. 5, p. 27–43, 2011. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=279405>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CLARK, John R.; FINN, Chad E. Blackberry cultivation in the world. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 36, p. 46–57, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452014000100007&nrm=iso. Acesso em: 24 nov. 2024.

COLOMA, A. *et al.* Development of an active film with natural zeolite as ethylene scavenger. **Journal of the Chilean Chemical Society**, [s. l.], v. 59, n. 2, p. 2409–2414, 2014.

CONAB. **Mandioca - Janeiro 2023**. [S. l.], 2023. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/46463_d154b28e64014fefb6c7090eee2cc2a9. Acesso em: 17 mar. 2023.

CONTINI, Claudia *et al.* Development of active packaging containing natural antioxidants. **Procedia Food Science**, [s. l.], v. 1, p. 224–228, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211601X11000368>. Acesso em: 24 nov. 2024.

COOKSEY, Kay. OXYGEN SCAVENGING PACKAGING SYSTEMS. In: **ENCYCLOPEDIA OF POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2010. p. 10. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/0471440264.pst570>. Acesso em: 19 nov. 2020.

CORDEIRO, Luana Gomes; EL-AOUAR, Ânoar Abbas; GUSMÃO, Rennan Pereira. CARACTERIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE ORIUNDO DE CERVEJARIAS. **REVISTA VERDE DE AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**, [s. l.], v. 7, n. 3, 2012. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1198>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CORNEJO-RAMÍREZ, Yaeel Isbeth *et al.* The structural characteristics of starches and their functional properties. **CYTA - Journal of Food**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 1003–1017, 2018.

CORRÊA, Daiane *et al.* **CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE AMEIXA EUROPEIA**. [S. l.], 2019. Disponível em: https://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/3995/1/DAIANE_CORREA.pdf. Acesso em: 1 nov. 2024.

CORREIA, Keila Souza. **PRODUÇÃO DE BIOPLÁSTICO À BASE DE AMIDO DE JACA (Artocarpus heterophyllus Lam) E ÓLEO DE PALMA (Elaeis guineensis Jaquim)**. 2019. 0–155 f. - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, [s. l.], 2019. Disponível em: <http://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2019/07/KEILA-SOUZA-CORREIA.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

COSTA, Ricardo *et al.* Esg – Os Pilares Para Os Desafios Da Sustentabilidade. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, [s. l.], v. 3, n. 9, p. e391920, 2022.

COSTA, Danusa Silva da *et al.* Properties of films and coatings added of tocopherol for food packaging: tool-based review for systematic reviews and bibliometric analysis. **British Food Journal**, [s. l.], v. 126, n. 13, p. 226–268, 2024. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/BFJ-04-2023-0292/full/html#sec006>. Acesso em: 24 nov. 2024.

COSTA, Fernanda Andrade Tigre da; JÚNIOR, Jairo Paschoal; BAÚ, Rosana Zanetti. Desenvolvimento De Biopolímero a Partir Do Amido De Chuchu E Avaliação Da Incorporação Do Resíduo De Café E Óleo De Buriti. *In*: COELHO, Filipe Alves; FELIPPE, Monica Tais Siqueira D'amelio; SABLÓN, Vicente Idalberto Becerra (org.). **Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 2**. 1. ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2021. p. 120–134. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/engenharia-moderna-solucoes-para-problemas-da-sociedade-e-da-industria-2>. Acesso em: 24 nov. 2024.

CRISOSTO, C. H.; KADER, A. A. **Plum and fresh prune postharvest quality maintenance guidelines**. Davis: University of California, 2000. Disponível em: [http://sunworldfruit.com/sun-worldfruit/Articles/PlumPostHarvestGuidelines.pdf%5Cnhttp://www2.uckac.edu/postharv/PDF files/Guidelines/plum.pdf](http://sunworldfruit.com/sun-worldfruit/Articles/PlumPostHarvestGuidelines.pdf%5Cnhttp://www2.uckac.edu/postharv/PDF%20files/Guidelines/plum.pdf). Acesso em: 24 nov. 2024.

CRISTINA RADAELLI, Juliana *et al.* Atmosfera Modificada E Temperatura De Armazenamento Para Pós-Colheita De Ameixa Da Mata. **Colloquium Agrariae**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 56–65, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326794562_ATMOSFERA_MODIFICADA_E_TEMPERATURA_DE_ARMAZENAMENTO_PARA_POS-COLHEITA_DE_AMEIXA_DA_MATA. Acesso em: 24 nov. 2024.

CRUZ, Renato Souza; CAMILLOTO, Geany Peruch; PIRES, Ana Clarissa dos Santos. Oxygen Scavengers: An Approach on Food Preservation. *In*: EISSA, Ayman Amer (org.). **Structure and Function of Food Engineering**. 1. ed. London: InTechOpen, 2012. p. 21–42. Disponível em: https://cdn.intechopen.com/pdfs/38354/InTech-Oxygen_scavengers_an_approach_on_food_preservation.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

DARRÉ, Magalí *et al.* Postharvest Ultraviolet Radiation in Fruit and Vegetables: Applications and Factors Modulating Its Efficacy on Bioactive Compounds and Microbial Growth. **Foods**, Switzerland, v. 11, n. 5, 2022.

DATA, Et cetera. **The life story of your plastic bag**. [S. l.], 2021. Disponível em: www.dataetc.org/021/04/10/plastic.html. Acesso em: 25 abr. 2021.

DAUDT, R. M. *et al.* Comparative study on properties of edible films based on pinhão (*Araucaria angustifolia*) starch and flour. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 60, p. 279–287, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X16301333>. Acesso em: 24 nov. 2024.

DE BRUIJN, Johannes *et al.* Effect of doping natural zeolite with copper and zinc cations on ethylene removal and postharvest tomato fruit quality. **Chemical Engineering Transactions**, [s. l.], v. 75, n. September 2018, p. 265–270, 2019.

DEBIAGI, Flávia *et al.* Biodegradable active packaging based on cassava bagasse, polyvinyl alcohol and essential oils. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 52, p. 664–670, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669013006584>. Acesso em: 24 nov. 2024.

DELTSIDIS, Angelos; AMES, Zilfina Rubio; ESPINOZA, Natalia. **Blueberry Harvesting and Postharvest Handling**. [S. l.], 2023. Disponível em: https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/C_1269_1.PDF. Acesso em: 30 out. 2024.

DEY, Aishee; NEOGI, Sudarsan. Oxygen scavengers for food packaging applications: A review. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 90, p. 26–34, 2019. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224418305818>. Acesso em: 24 nov. 2024.

DI BARTOLO, Alberto; INFURNA, Giulia; DINTCHEVA, Nadka Tzankova. A review of bioplastics and their adoption in the circular economy. **Polymers**, [s. l.], v. 13, n. 8, 2021.

DIRIM, S. Nur A.; ESIN, Ali; BAYINDIRLI, Alev. A new protective polyethylene based film containing zeolites for the packaging of fruits and vegetables: Film preparation. **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 1–9, 2003.

DJAENI, Mohamad; KURNIASARI, Laeli; SASONGKO, Setia Budi. Preparation of Natural Zeolite for Air Dehumidification in Food Drying. **International Journal of Science and Engineering**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 80–83, 2015.

DO CARMO, D.L.; SILVA, C.A. Quantification methods of carbon and organic matter in organic residues. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 36, n. 4, p. 1211–1220, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/RRxVrmdpzbZxZ6Z7LnwZQ7H/?lang=pt&format=pdf#:~:text=O teor de matéria orgânica,a 105 oC%3B C %3D tara>. Acesso em: 24 nov. 2024.

DOGARU, Lucreția. Green Economy and Green Growth—Opportunities for Sustainable Development. **Proceedings**, [s. l.], v. 63, n. 1, p. 70, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-3900/63/1/70>. Acesso em: 24 nov. 2024.

DONHOWE, I. G.; FENNEMA, O. R. Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions and testing methods. *In*: EDIBLE COATINGS AND FILMS TO IMPROVE FOOD QUALITY. Lancaster: Technomic Publishing Co., 1994. p. 1–25.

DU, Xiaofen; ROUSEFF, Russell. Aroma active volatiles in four southern highbush blueberry cultivars determined by gas chromatography-olfactometry (GC-O) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, United States, v. 62, n. 20, p. 4537–4543, 2014.

DUGALIC, K. *et al.* Sorbitol and sugar composition in plum fruits influenced by climatic conditions. **Journal of Agricultural Science and Technology**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 1145–1155, 2014.

DUTTA, Ditimoni; SIT, Nandan. Application of natural extracts as active ingredient in biopolymer based packaging systems. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 60, n. 7, p. 1888–1902, 2023.

ECCLES, R. Menthol and Related Cooling Compounds. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, [s. l.], v. 46, n. 8, p. 618–630, 1994. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.2042-7158.1994.tb03871.x>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ECK, P; CHILDERS, N F. **Blueberry Culture**. 1. ed. New Jersey: Rutgers University Press, 1966-. ISSN 0036-8733.v. 59 Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=jFUjAQAAMAAJ>. Acesso em: 24 nov. 2024.

EDGLEY, M.; CLOSE, D. C.; MEASHAM, P. F. Red drupelet reversion in blackberries: A complex of genetic and environmental factors. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 272, p. 109555, 2020.

EHLENFELDT, M. K.; MEREDITH, F. I.; BALLINGTON, J. R. Unique organic acid profile of rabbiteye vs. highbush blueberries. **HortScience**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 321–323, 1994.

EIDAM, Tânia *et al.* Ameixeira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. i–i, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbf/a/rLTpG6nCxCp7VpJPHVsJcvS/?lang=pt>. Acesso em: 10 fev. 2023. Acesso em: 24 nov. 2024.

EMBRAPA. **Tecnologias Pós-Colheita em Frutas e Hortaliças**. 1. ed. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011.

ENARU, Bianca *et al.* Anthocyanins: Factors affecting their stability and degradation. **Antioxidants**, Switzerland, v. 10, n. 12, p. 1–24, 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8750456/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

EROGLU, Nazife; EMEKCI, Mevlut; ATHANASSIOU, Christos G. Applications of natural zeolites on agriculture and food production. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 97, n. 11, p. 3487–3499, 2017.

EUROPEAN BIOPLASTICS. **Fact sheet: What are bioplastics?**. [S. l.], 2016. Disponível em: https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_what_are_bioplastics.pdf. Acesso em: 27 jan. 2023. Acesso em: 24 nov. 2024.

FABRIS, S.; FREIRE, M.T.D.A.; REYES, F.G.R. Plastic packaging: Types of materials, food contamination and legislation aspects. **Revista Brasileira de Toxicologia**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 61–70, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Felix-Reyes-3/publication/287350514_Plastic_packaging_Types_of_materials_food_contamination_and_legislation_aspects/links/56bc95d508ae9ca20a4be4ec/Plastic-packaging-Types-of-materials-food-contamination-and-legislation. Acesso em: 24 nov. 2024.

FAKHOURI, Farayde Matta. **Bioplásticos flexíveis e biodegradáveis à base de amido e gelatina**. 2009. 271 f. - Universidade Estadual de Campinas, [s. l.], 2009.

FAKHOURI, F. M. *et al.* Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 369–375, 2007.

FAOSTAT. **Crops**. [S. l.], 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 29 set. 2020.

FARNETI, Brian *et al.* Exploring blueberry aroma complexity by chromatographic and direct-injection spectrometric techniques. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 8, n. April, p. 1–19, 2017.

FELIPE, Ednilson Silva; MARTINS, Elvira Carolina Scapin. **Inovação E Destruição Criadora E Os Desafios Atuais E Institucionais Da Indústria Musical**. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/inovao-e-destruio-criadora-e-os-desafios-atuais-e-institucionais-da-industria-musical-25318>. Acesso em: 1 nov. 2024.

FERNANDES, Aline *et al.* **Fabricação de amido de mandioca**. [S. l.]: Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, 1995. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301799801_Fabircacao_de_amido_de_mandioca. Acesso em: 24 nov. 2024.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Londrina: UEL, 1999. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

FERNANDEZ, Gina; BALLINGTON, James R. **Growing Blackberries in North Carolina**. [S. l.], 1999. Disponível em: <https://digital.ncdcr.gov/Documents/Detail/growing-blackberries-in-north-carolina/3692017?item=4784369>. Acesso em: 31 out. 2024.

FERREIRA, Patrícia Silva; HASNER, Cecília; SANTOS, Douglas. O POTENCIAL E O PERFIL DAS PATENTES VERDES EM CONSERVAÇÃO E RENOVAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL. **Cadernos de Prospecção**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 111–120, 2016.

FERREIRA, Marcos David; SPRICIGO, Poliana Cristina. Colorimetria: Princípios e aplicações na agricultura. *In*: INSTRUMENTAÇÃO EM FRUTAS E HORTALIÇAS. 1. ed. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2017. p. 209–220. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170416/1/Parte-4-cap-1-Colorimetria-....pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

FERRELL, J A; SELLERS, B A. Blackberry and Dewberry: Biology and Control. **Institute of Food and Agricultural Services (IFAS)/ University of Florida EDIS**, [s. l.], v. CIR 1192, n. SS-AGR-240, p. 1–3, 2013. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FILES/MG/MG35900.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

FGCU. **Blackberry (rubus fruticosus)**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.fgcu.edu/cas/communityimpact/foodforest/files/Blackberry-ADA.pdf>. Acesso em: 9 out. 2020.

FIGUEIREDO, Madeleine Alves de. **Descrição Floral, polínica e carpométrica de cultivares de amoreira-preta**. 2013. 69 f. - LAVRAS, [s. l.], 2013. Disponível em: [http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/623/1/DISSERTAÇÃO_Descrição floral%2C polínica e carpométrica de cultivares de amoreira-preta.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/623/1/DISSERTAÇÃO_Descrição%20floral%20polínica%20e%20carpométrica%20de%20cultivares%20de%20amoreira-preta.pdf). Acesso em: 24 nov. 2024.

FLORINDO, Débora Nathália Fernandes. **Obtenção de compósitos poliméricos com fibras naturais de bagaço de malte**. 2017. 49 f. - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [s. l.], 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8396/1/PG_COENQ_2017_2_11.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

FOLLMANN, Andrise Janaina *et al.* Degradação De Sacolas Plásticas Convencionais E Oxibiodegradáveis. **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 187, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/315504033_DEGRADACAO_DE_SACOLA S_PLASTICAS_CONVENCIONAIS_E_OXIBIODEGRADAVEIS](https://www.researchgate.net/publication/315504033_DEGRADACAO_DE_SACOLA_S_PLASTICAS_CONVENCIONAIS_E_OXIBIODEGRADAVEIS). Acesso em: 24 nov. 2024.

FORNEY, Charles F. *et al.* Blueberry and cranberry fruit composition during development. **Journal of Berry Research**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 169–177, 2012.

FREIRE, Carlos torres; MARUYAMA, Felipe Massami; POLLI, Marco. Inovação e Empreendedorismo: Políticas Públicas e Ações Privadas. **Novos Estudos**, [s. l.], v. 36, n. 03, p. 51–76, 2017.

FURLAN, Luciano; DUARTE, Ueiler; MAULER, Raquel. Avaliação das propriedades de compósitos de polipropileno reforçados com casca de aveia. **Química Nova**, [s. l.], v. 35, p. 1499–1501, 2012.

GABRIEL, Azmi Alvian; SOLIKHAH, Anggita Fitri; RAHMAWATI, Alifia Yuanika. Tensile Strength and Elongation Testing for Starch-Based Bioplastics using Melt Intercalation Method: A Review. **Journal of Physics: Conference Series**, [s. l.], v. 1858, n. 1, 2021.

GAIKWAD, Kirtiraj; SINGH, Suman; LEE, Youn Suk. Oxygen scavenging films in food packaging. **Environmental Chemistry Letters**, [s. l.], 2018.

GALLANT, D J *et al.* Physical Characteristics of Starch Granules and Susceptibility to Enzymatic Degradation. **European Journal of Clinical Nutrition**, [s. l.], v. 46, p. S3–S16, 1992.

GARCES, Viviana *et al.* Characterization of Cassava Starch and Its Structural Changes Resulting of Thermal Stress by Functionally-Enhanced Derivative Spectroscopy (FEDS). **Polysaccharides**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 866–877, 2021.

GARCIA, L. C. *et al.* Effect of antimicrobial starch edible coating on shelf-life of fresh strawberries. **Packaging Technology and Science**, [s. l.], v. 25, n. 7, p. 413–425, 2012.

GERMAN BEER INSTITUTE. **PILS**. [S. l.], 2011. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20111019092501/http://germanbeerinstitute.com/pils.htm>. Acesso em: 30 out. 2024.

GEWEELY, Neveen; OUF, Salama. Enhancement of fungal degradation of starch based plastic polymer by laser-induced plasma. **African Journal of Microbiology Research**, [s. l.], v. 5, n. 20, p. 3273–3281, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228832193_Enhancement_of_fungal_degradation_of_starch_based_plastic_polymer_by_laser-induced_plasma. Acesso em: 24 nov. 2024.

GOLLIN, Douglas; HANSEN, Casper Worm; WINGENDER, Asger. **Two blades of grass: The Impact of the Green Revolution**: Working Papers (no prelo). Cambridge: [s. n.], 2018. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w24744.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

GOMES, Carla Lobo *et al.* Mass balance and water demand in the process of alkaline pretreatment of the main brewery residue. **Cadernos UniFOA**, [s. l.], v. 18, n. 53, p. 1–13, 2023.

GONÇALVES, Christophe F. *et al.* Influence of production and conservation conditions on some physical and chemical properties of blueberries. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 170–176, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320335420_Influence_of_production_and_conservation_conditions_on_some_physical_and_chemical_properties_of_blueberries. Acesso em: 24 nov. 2024.

GONÇALVES, Fabrício Custódio de Moura. **Mirtilos: os detalhes do manejo de cultivo**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/mirtilos-os-detalhes-do-manejo-de-cultivo/>. Acesso em: 6 fev. 2023.

GONG, Li *et al.* Genetic relationships and evolution in Cucurbita pepo (pumpkin, squash, gourd) as revealed by simple sequence repeat polymorphisms. **TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik**, [s. l.], v. 124, n. 5, p. 875–891, 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22101929>. Acesso em: 24 nov. 2024.

GRILO, Evellyn Câmara *et al.* Influência do tempo de armazenamento sobre a concentração de alfa-tocoferol e gama-tocoferol em óleos vegetais. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, [s. l.], v. 74, n. 3, p. 216–224, 2016.

GUO, Shuanghuan; HUANG, Runze; CHEN, Haiqiang. Evaluating a Combined Method of UV and Washing for Sanitizing Blueberries, Tomatoes, Strawberries, Baby Spinach, and Lettuce. **Journal of food protection**, [s. l.], v. 82, n. 11, p. 1879–1888, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31622165/>. Acesso em: 8 fev. 2023.

GUSTAVSSON, Jenny *et al.* **Global Food Losses and Food Waste**. 1. ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.

HADADINEJAD, Mehdi; GHASEMI, Kamran; MOHAMMADI, Amir Ali. Effect of Storage Temperature and Packaging Material on Shelf Life of Thornless Blackberry. **International Journal of Horticultural Science and Technology**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 265–275, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330824574_Effect_of_Storage_Temperature_and_Packaging_Material_on_Shelf_Life_of_Thornless_Blackberry. Acesso em: 24 nov. 2024.

HAIDER, Tobias P. *et al.* Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society. **Angewandte Chemie - International Edition**, [s. l.], v. 58, n. 1, p. 50–62, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326192277_Plastics_of_the_Future_The_Impact_of_Biodegradable_Polymers_on_the_Environment_and_on_Society. Acesso em: 24 nov. 2024.

HANLON, W. Walker. **Coal Smoke and the Costs of the Industrial Revolution**: Working Paper Series. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w22921>. Acesso em: 24 nov. 2024.

HANSEN, Natanya M.L. *et al.* Properties of plasticized composite films prepared from nanofibrillated cellulose and birch wood xylan. **Cellulose**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 2015–2031, 2012.

HARB, Jamil *et al.* Changes in polyphenols and expression levels of related genes in “Duke” blueberries stored under high CO₂ levels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 62, n. 30, p. 7460–7467, 2014.

HE, Shenghua *et al.* Effect of ball-milling on the physicochemical properties of maize starch. **Biotechnology Reports**, [s. l.], v. 3, p. 54–59, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.btre.2014.06.004>. Acesso em: 24 nov. 2024.

HECK, Karina *et al.* Evaluation of degradation temperature of compounds in a composting process and microbiological quality of the compost. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 54–59, 2012.

HENDGES, Marcos Vinícius *et al.* 1-MCP and storage conditions on the ripening and production of aromatic compounds in Conference and Alexander Lucas pears harvested at different maturity stages. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], v. 146, p. 18–25, 2018.

HIDAYAH, E. N.; TRIASTUTI, R. R. J.; ABDILLAH, Annur A. **The effect of iron powder as oxygen absorber active packaging on fish oil total oxidation value.** [S. l.], 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339485961_The_effect_of_iron_powder_as_oxygen_absorber_active_packaging_on_fish_oil_total_oxidation_value. Acesso em: 1 nov. 2024. Acesso em: 24 nov. 2024.

HORVITZ, Sandra. Postharvest Handling of Berries. *In*: POSTHARVEST HANDLING. [S. l.]: InTechOpen, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319692016_Postharvest_Handling_of_Berries. Acesso em: 24 nov. 2024.

HOSSEINI, Somaieh *et al.* Preharvest and Postharvest Application of Garlic and Rosemary Essential Oils for Controlling Anthracnose and Quality Assessment of Strawberry Fruit During Cold Storage. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 11, 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2020.01855>. Acesso em: 24 nov. 2024.

HUBBE, Martin A.; NAZHAD, Mousa; SÁNCHEZ, Carmen. Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: A review. **BioResources**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 2808–2854, 2010.

HUMMER, K E; JANICK, J. Rubus Iconography: Antiquity to the Renaissance. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 759, 2007.

HUSSAIN, Syed Zameer *et al.* Plum (*Prunus domestica*): Morphology, Taxonomy, Composition and Health Benefits. *In*: FRUITS GROWN IN HIGHLAND REGIONS OF THE HIMALAYAS. 1. ed. [S. l.]: Springer, 2021. p. 255.

HWANG, Hyesung; KIM, Young Jun; SHIN, Youngjae. Assessment of physicochemical quality, antioxidant content and activity, and inhibition of cholinesterase between unripe and ripe blueberry fruit. **Foods**, [s. l.], v. 9, n. 6, 2020.

IKENAMI, Rodrigo Kazuo; GARNICA, Leonardo Augusto; RINGER, Naya Jayme. Ecosistemas de inovação: abordagem analítica da perspectiva empresarial para formulação de estratégias de interação. **RACEF - Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 162–174, 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos**. IVed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008-. ISSN 1098-6596.

Disponível em:

http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

INTERNATIONAL FRESH-CUT PRODUCE ASSOCIATION. **Consumer Trends Resources**. [S. l.], 2023. Disponível em:

<https://www.freshproduce.com/resources/consumer-trends/>. Acesso em: 17 mar. 2023.

ISHIMURA, Issao *et al.* **Olericultura Orgânica: Compostagem**. 1. ed. São Paulo: Yamamoto, Sônia Masumi, 2006. Disponível em:

<https://codeagro.agricultura.sp.gov.br/uploads/capacitacao/cartilha-compostagem-SENAR.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

JAIN, Vikas Kumar *et al.* Active packaging of horticultural produce. *In*: SHUKLA, R. P. *et al.* (org.). **Nutraceutical food processing technology: Innovative scientific research**. 1. ed. Delhi: Bharti Publications, 2017. p. 253–259.

JAIN, Mayur Shirish; DAGA, Mohit; KALAMDHAD, Ajay S. Variation in the key indicators during composting of municipal solid organic wastes. **Sustainable Environment Research**, [s. l.], v. 29, n. 9, p. 1–8, 2019. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/332352101_Variation_in_the_key_indicators_during_composting_of_municipal_solid_organic_wastes. Acesso em: 24 nov. 2024.

JANES, D; PERCIVAL, David. Trends in Lowbush Blueberry Cultivar Development. **Journal- American Pomological Society**, [s. l.], v. 57, p. 63–69, 2003.

JARAMILLO, Carolina *et al.* Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 176, 2017.

JAYARATHNA, Shishanthi; ANDERSSON, Mariette; ANDERSSON, Roger. Recent Advances in Starch-Based Blends and Composites for Bioplastics Applications. **Polymers**, [s. l.], v. 14, n. 21, p. 1–24, 2022.

JETHOO, A. S. Effect of fiber reinforcement on tensile strength and flexibility of corn starch-based bioplastic. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 652, n. 1, p. 5, 2019. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/336884355_Effect_of_fiber_reinforcement_on_tensile_strength_and_flexibility_of_corn_starch-based_bioplastic. Acesso em: 24 nov. 2024.

JIANG, Y. *et al.* Browning: Enzymatic Browning. **Encyclopedia of Food and Health**, [s. l.], p. 508–514, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123849472000908?via%3DiDihub>. Acesso em: 24 nov. 2024.

JIDEANI, Afam I. O. *et al.* Processing and Preservation of Fresh-Cut Fruit and Vegetable Products. *In*: KAHRAMANOGLU, Ibrahim (org.). **Postharvest Handling**. [S. l.]: InTechOpen, 2017. p. 13. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>. Acesso em: 24 nov. 2024.

JOHNSON, David. What is innovation and entrepreneurship? Lessons for larger organisations. **Industrial and Commercial Training**, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 135–140, 2001.

JONES, Ellis. Rethinking Greenwashing: Corporate Discourse, Unethical Practice, and the Unmet Potential of Ethical Consumerism. **Sociological Perspectives**, [s. l.], v. 62, n. 5, p. 728–754, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333400067_Rethinking_Greenwashing_Corporate_Discourse_Unethical_Practice_and_the_Unmet_Potential_of_Ethical_Consumerism. Acesso em: 24 nov. 2024.

JOO, Minjung *et al.* Comparative shelf life study of blackberry fruit in bio-based and petroleum-based containers under retail storage conditions. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 126, n. 4, p. 1734–1740, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.071>. Acesso em: 24 nov. 2024.

JOO, MinJung *et al.* **Shelf Life Study of Blackberry Fruit In An Eco-Friendly Container**. [S. l.], 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267343085_Shelf_Life_Study_of_Blackberry_Fruit_In_An_Eco-Friendly_Container. Acesso em: 1 nov. 2024. Acesso em: 24 nov. 2024.

JOSHI, Prabesh *et al.* Use of edible alginate and limonene-liposome coatings for shelf-life improvement of blackberries. **Future Foods**, [s. l.], v. 4, p. 100091, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666833521000812>. Acesso em: 24 nov. 2024.

KALLUF, Vanessa Haddad. **Desidratação da polpa de abóbora e seus teores em beta-caroteno**. 2006. 68 f. - UFPR, [s. l.], 2006. Disponível em: [https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/4340/Disserta%E7%E3o%20-%20VANESSA%20KALLUF%2013\[1\].07.06.pdf;jsessionid=90EE49E93F163D42E9A7053AA094A757?sequence=1](https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/4340/Disserta%E7%E3o%20-%20VANESSA%20KALLUF%2013[1].07.06.pdf;jsessionid=90EE49E93F163D42E9A7053AA094A757?sequence=1). Acesso em: 24 nov. 2024.

KARABAGIAS, Ioannis Konstantinos; NAYIK, Gulzar Ahmad. Machine Learning Algorithms Applied to Semi-Quantitative Data of the Volatilome of Citrus and Other Nectar Honeys with the Use of HS-SPME/GC–MS Analysis, Lead to a New Index of Geographical Origin Authentication. **Foods**, [s. l.], v. 12, n. 3, 2023.

KARATHANOS, V. T.; SARAVACOS, G. D. Porosity and pore size distribution of starch materials. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 259–280, 1993.

KAUME, Lydia; HOWARD, Luke R.; DEVAREDDY, Latha. The Blackberry Fruit: A Review on Its Composition and Chemistry, Metabolism and Bioavailability, and Health Benefits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 60, n. 23, p. 5716–5727, 2011.

KAVELIN, Kirill Gennadjevich. **Investigation of natural fiber composites heterogeneity with respect to automotive structures**. 2005. 174 f. - Delft University of Technology, [s. l.], 2005. Disponível em: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A7cb5171e-3698-4780-84a0-f2f43dc8c2d5>. Acesso em: 24 nov. 2024.

KAYSERILIOĞLU, Betül Ş *et al.* Use of xylan, an agricultural by-product, in wheat gluten based biodegradable films: Mechanical, solubility and water vapor transfer rate properties. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 87, n. 3, p. 239–246, 2003.

KEMP, René. **Research Brief: Measuring Eco-Innovation**. Maastrich: United Nations University, 2008. Disponível em: https://collections.unu.edu/eserv/UNU:869/rb01_08_measuring_eco_innovation.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

KERRY, J P; O'GRADY, M N; HOGAN, S A. Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. **Meat science**, England, v. 74, n. 1, p. 113–130, 2006.

KHAN, Muhammad Rafiullah *et al.* Antioxidant activity of thymol essential oil and inhibition of polyphenol oxidase enzyme: a case study on the enzymatic browning of harvested longan fruit. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 1–10, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/articles/10.1186/s40538-021-00259-y>. Acesso em: 27 fev. 2023.

KHERA, Kartik *et al.* Impact of different storage conditions with combined use of ethylene blocker on 'Shalimar' apple variety. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 1–11, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57688-6>. Acesso em: 24 nov. 2024.

KIEHL, Edmar José. **Manual de compostagem maturação e qualidade do composto**. 1. ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001004271>. Acesso em: 24 nov. 2024.

KIM, Moo Jung *et al.* Shelf life and changes in phenolic compounds of organically grown blackberries during refrigerated storage. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], n. 110, p. 257–263, 2015.

KIZIL, Ramazan; IRUDAYARAJ, Joseph; SEETHARAMAN, Koushik. Characterization of irradiated starches by using FT-Raman and FTIR spectroscopy. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 50, n. 14, p. 3912–3918, 2002.

KLUGE, R.A.; BILHALVA, A.B.; CANTILLANO, R.F.F. ARMAZENAMENTO REFRIGERADO DE AMEIXAS 'REUBENNEL' (*Prunus salicina* Lindl.): EFEITOS DO ESTÁDIO DE MATURAÇÃO E DO POLIETILENO. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 53, n. 2–3, p. 226–231, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161996000200006>. Acesso em: 24 nov. 2024.

KOCHHAR, S. L.; GUJRAL, Sukhbir Kaur. Ripening, Senescence and Cell Death. In: KOCHHAR, S L; GUJRAL, Sukhbir Kaur (org.). **Plant Physiology**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. p. 526–542. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/product/09764BBFBA8051ED1C3DCAEC5B7BE979>. Acesso em: 24 nov. 2024.

KODAGODA, Gethmini *et al.* Effect of storage on the nutritional quality of queen garnet plum. **Foods**, Switzerland, v. 10, n. 2, 2021.

KOWALSKA, Aleksandra. The issue of food losses and waste and its determinants. **Logforum**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 7–18, 2015.

KVITTINGEN, Lise; SJURSNES, Birte Johanne; SCHMID, Rudolf. Limonene in Citrus: A String of Unchecked Literature Citings?. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 98, n. 11, p. 3600–3607, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00363>. Acesso em: 24 nov. 2024.

KWANYUN, Padtaraporn *et al.* Characteristics of Soil Amendment Material from Food Waste Disposed of in Bioplastic Bags. **Fermentation**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 1–17, 2023.

LALREMRUATI, Mary; DEVI, Angom Sarjubala. Duration of Composting and Changes in Temperature, pH and C/N Ratio during Composting: A Review. **Agricultural Reviews**, [s. l.], n. Of, 2021.

LAMIKANRA, Olusola. **Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology, and Market**. 1. ed. Boca Ratón: CRC Press, 2002.

LANDIM, Ana Paula Miguel *et al.* Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, [s. l.], v. 26, n. Especial, p. 82–92, 2016. Disponível em: <https://revistapolimeros.org.br/article/10.1590/0104-1428.1897/pdf/polimeros-26-Suppl-82.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

LAVAGNOLO, Maria Cristina *et al.* Composting of starch-based bioplastic bags: Small scale test of degradation and size reduction trend. **Detritus**, [s. l.], v. 12, n. October, p. 57–65, 2020.

LEE, Jungmin. Blackberry fruit quality components, composition, and potential health benefits. In: HALL, Harvey; FUNT, Richard (org.). **Quality, Composition, and Health Benefits**. [S. l.]: CABI, 2018. p. 49–62.

LEE, Jungmin; DOSSETT, Michael; FINN, Chad E. Rubus fruit phenolic research: The good, the bad, and the confusing. **Food chemistry**, [s. l.], v. 130, n. 4, p. 785–796, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.022>. Acesso em: 24 nov. 2024.

LEONEL, Magali. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 27, n. 3, p. 579–588, 2007.

LI, Ming *et al.* Non-destructive assessment of quality parameters in ‘Friar’ plums during low temperature storage using visible/near infrared spectroscopy. **Food Control**, [s. l.], v. 73, p. 1334–1341, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713516306107>. Acesso em: 24 nov. 2024.

LI, Yang *et al.* Shelf-life, quality, safety evaluations of blueberry fruits coated with chitosan nano-material films. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 55, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80056-z>. Acesso em: 24 nov. 2024.

LIMA, Keila Sousa *et al.* Shelf life and quality of minimally processed pumpkins. **Amazonian Journal of Plant Research**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 336–342, 2019.

LIMBO, Sara; MOUSAVI KHANEGHAH, Amin. Active packaging of foods and its combination with electron beam processing. *In*: ELECTRON BEAM PASTEURIZATION AND COMPLEMENTARY FOOD PROCESSING TECHNOLOGIES. [S. l.: s. n.], 2015. p. 195–217.

LLORENS, Amparo *et al.* Metallic-based micro and nanocomposites in food contact materials and active food packaging. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 19–29, 2012.

LONE, Showkat Ahmad *et al.* An investigation on the sterilization of berry fruit using ozone: An option to preservation and long-term storage. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [s. l.], v. 20, p. 101212, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878818119303809>. Acesso em: 24 nov. 2024.

LOPES, Allan Remor *et al.* Influência Da Incorporação Do Extrato De Barbatimão Em Filmes De Amido E Caseína. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, [s. l.], v. 8, n. 2, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327072603_INFLUENCIA_DA_INCORPORACAO_DO_EXTRATO_DE_BARBATIMAO_EM_FILMES_DE_AMIDO_E_CASEINA. Acesso em: 24 nov. 2024.

LÓPEZ, Olivia Valeria *et al.* Película biodegradable de almidón de maíz termoplástico y quitosano con actividad antimicrobiana empleada como envase activo. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [s. l.], v. 23, n. 2, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762018000200497&nrm=iso. Acesso em: 24 nov. 2024.

LOUREIRO, Amanda Oriani. **Bioplásticos E Plásticos Biodegradáveis: Revisão bibliográfica dos principais materiais e seus impactos ambientais**. 2021. 1–59 f. - Universidade Federal de São Carlos, [s. l.], 2021.

LOUW, Esmé D.; THERON, Karen I. Volatile dynamics during maturation, ripening and cold storage of three Japanese plum cultivars (*Prunus salicina* Lindl.). **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], v. 70, p. 13–24, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521412000671>. Acesso em: 24 nov. 2024.

LOZANO, J. E.; IBARZ, A. Colour changes in concentrated fruit pulp during heating at high temperatures. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 365–373, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877496000799>. Acesso em: 24 nov. 2024.

LUCHESSE, Claudia Leites. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de amido contendo subprodutos provenientes do processamento de alimentos**. 2018. 121 f. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/178251/001065432.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

LUDKA, Flavia Rafaela *et al.* Brewers' spent grain extract as antioxidants in starch-based active biopolymers. **International Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 59, n. 1, p. 142–150, 2024.

LUENGO, R. de F. A. *et al.* **Pós-colheita de Hortaliças**. 1. ed. [S. l.]: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

LUENGO, R. F. A.; LOPES, J. F. Comportamento pós-colheita de frutos de abóbora e moranga. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 35–37, 1995.

LUVIELMO, Márcia; LAMAS, Susana. Revestimentos comestíveis em frutas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 8–15, 2012.

LUZA, J.G. *et al.* Chilling Injury in Peaches: A Cytochemical and Ultrastructural Cell Wall Study. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Washington, DC, v. 117, n. 1, p. 114–118, 1992. Disponível em: <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/117/1/article-p114.xml>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ŁYSIAK, Grzegorz; WALKOWIAK-TOMCZAK, Dorota. Quality of Plum Fruits after Storage Dependend of Quality Parameters during Harvest. **Ecological Chemistry and Engineering**, [s. l.], v. 17, n. 10, p. 1361–1367, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267152646_Quality_of_Plum_Fruits_after_Storage_Dependend_of_Quality_Parameters_during_Harvest. Acesso em: 24 nov. 2024.

MALGARIM, Marcelo Barbosa *et al.* Stage of Maturation and Temperature Variation During the Storage on Postharvest Quality of Plums cv. Amarelinha. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 29–35, 2005.

MALI, Suzana *et al.* Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 56, n. 2, p. 129–135, 2004.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861704000244>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MANSOUR, N. S. **Storing Pumpkin and Winter Squash at Home**. [S. l.]: Oregon State University Extension service, 2009. Disponível em:

<https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/ec1632.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MARCELINO, Janaina Szwaidak; MARCELINO, Marlene Szwaidak. **Cultivo de abóbora**. [S. l.], 2012. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NjExOA==>. Acesso em: 31 out. 2021.

MARSARIOLI, Maurício. **Identificação e avaliação de geração de resíduos em processo de produção de cerveja em microcervejaria e proposição de reutilização**. 2019. 70 f. - Univates, [s. l.], 2019. Disponível em:

<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/2627/1/2019MauricioMarsarioli.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MARTÍNEZ-ROMERO, Domingo *et al.* 1-Methylcyclopropene increases storability and shelf life in climacteric and nonclimacteric plums. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 51, n. 16, p. 4680–4686, 2003. Disponível em:

<https://doi.org/10.1021/jf034338z>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MARTÍNEZ-ROMERO, D. *et al.* The use of natural aromatic essential oils helps to maintain post-harvest quality of “Crimson” table grapes. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 682, p. 1723–1730, 2005. Disponível em:

https://www.actahort.org/books/682/682_230.htm. Acesso em: 24 nov. 2024.

MASCLEF, Amédée. **Vaccinium myrtillus L.** [S. l.], 1891. Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:203_Vaccinium_myrtillus_L.jpg. Acesso em: 6 fev. 2023.

MASTROLIA, Cristina *et al.* Plastic Pollution: Are Bioplastics the Right Solution?. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 14, n. 22, 2022. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2073-4441/14/22/3596>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MATTOS, Laura Valladão de. Alfred Marshall, o capitalismo e sua utopia social. **Economia e Sociedade**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 637–659, 2011.

MCBAIN, J. W.; KISTLER, S. S. MEMBRANES FOR ULTRAFILTRATION , OF GRADUATED FINENESS DOWN TO MOLECULAR SIEVES. **The Journal of General Physiology**, [s. l.], p. 187–200, 1928. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2323705/pdf/187.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MEDEIROS, Rodrigo Loureiro. Inovações Tecnológicas E O Processo De Desenvolvimento Econômico. **Análise**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 51–63, 2007. Disponível em: <https://www.cnp.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Inovações-tecnológicas-e-o-processo-de-desenvolvimento-econômico.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MEHMOOD, Zaffar; SADIQ, Muhammad Bilal; KHAN, Muhammad Rehan. Gelatin nanocomposite films incorporated with magnetic iron oxide nanoparticles for shelf life extension of grapes. **Journal of Food Safety**, [s. l.], v. 40, n. 4, 2020.

MELLO, Léa Rita Pestana Ferreira; VERGÍLIO, Renta Machado; MALI, Suzana. Caracterização Química e Funcional do Resíduo Fibroso da Indústria Cervejeira. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, Londrina, v. 2, n. 3, 2013. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/bbr/article/view/15746>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MELO, Biano Alves de Neto *et al.* Biodegradable thermoplastic starch of peach palm (*Bactris gasipaes kunth*) fruit: Production and characterisation. **International Journal of Food Properties**, [s. l.], v. 20, n. 00, p. S2429–S2440, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1372472>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MELO, Josiane Costa *et al.* Internal browning control in ‘Laetitia’ plums by modified atmosphere, management of ethylene and storage temperature. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 43, n. 3, p. 1–8, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/QMKy46Tp6KZdJKNBMZhCjwG/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MERLADETE, Aline. **SC é o segundo maior produtor de ameixa do Brasil**. [S. l.], 2022. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/sc-e-o-segundo-maior-produtor-de-ameixa-do-brasil_461510.html. Acesso em: 10 fev. 2023.

MILOŠEVIĆ, Petar. **Blueberries from Argentina**. [S. l.], 2017. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dish_of_blueberries.jpg. Acesso em: 6 fev. 2023.

MILTZ, Joseph; PERRY, Michael. Evaluation of the performance of Iron-based oxygen scavengers, with comments on their optimal applications. **Packaging Technology and Science**, [s. l.], v. 18, p. 21–27, 2005.

MIN, Tiantian *et al.* Electrospun pullulan/PVA nanofibers integrated with thymol-loaded porphyrin metal-organic framework for antibacterial food packaging. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 270, n. 2, p. 118391, 2021.

MOGHADDAM, Mohammad Hossein Yaghmaee; MEHDIZADEH, Leila. Chemistry of Essential Oils and Factors Influencing Their Constituents. *In*: SOFT CHEMISTRY AND FOOD FERMENTATION. [S. l.]: Academic Press, 2017. p. 379–419.

MOREIRA, Caroline *et al.* Desenvolvimento e caracterização de compósitos bioplásticos à base de amido de milho com diferentes materiais de reforço. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 13, p. e451111335676, 2022.

MOREIRA, Gabriela Luz Pereira *et al.* **Teores de amilose e amilopectina em genótipos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz).** [S. l.], 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95817/1/TEORES-DE-AMILOSE-192-processa-21540-Vanderlei.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2024. Acesso em: 24 nov. 2024.

MOREIRA, J. M. B. **Aproveitamento industrial de amoreira-preta.** Pelotas: Hortisul, 1989.

MORENO, Olga *et al.* Influence of starch oxidation on the functionality of starch-gelatin based active films. **Carbohydrate Polymers**, England, v. 178, p. 147–158, 2017.

MORO, Thaísa de Menezes Alves *et al.* **AMIDOS E FARINHA DE CASCA E ALBEDO DE MARACUJÁ.** São Carlos, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/964639/1/2013046.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2024.

MORO, Thaisa M.A. *et al.* Bioplastics of Native Starches Reinforced with Passion Fruit Peel. **Food and Bioprocess Technology**, [s. l.], v. 10, n. 10, p. 1798–1808, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1944-x>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MOSLEY, Stephen. Environmental History of Air Pollution and Protection. In: AGNOLETTI, M.; SERNERI, S. N. (org.). **World Environmental History**. 4. ed. New York: Springer Cham, 2014. p. 143–169. Disponível em: <https://www.eolss.net/sample-chapters/C09/E6-156-15.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MOTELICA, Ludmila *et al.* Biodegradable antimicrobial food packaging: Trends and perspectives. **Foods**, [s. l.], v. 9, n. 10, p. 1–36, 2020.

MPE. **Nota técnica: Compostagem de resíduos sólidos urbanos** Centro de apoio operacional às promotorias de proteção ao meio ambiente. Rebouças: [s. n.], 2022. Disponível em: https://www.mppa.mp.br/arquivos/ESMP/Nota_Tecnica_-_Compostagem.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

MÜLLER, J. M. **Desenvolvimento de zeólitas por desaluminização para desidratação de alcoóis.** 2013. 127 f. - Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/14039/3/2013_JuliaMarinaMuller_Parcial.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

NAKASAKI, K. *et al.* Effects Of pH Control On Composting Of Garbage. **Waste Management & Research**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 117–125, 1993. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734242X8371013X>. Acesso em: 24 nov. 2024.

NASIR, Nur Nadia; OTHMAN, Siti Amira. The Physical and Mechanical Properties of Corn-based Bioplastic Films with Different Starch and Glycerol Content. **Journal of Physical Science**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 89–101, 2021.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Public data catalog**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.nist.gov/data>. Acesso em: 1 nov. 2024.

NAUMANN, W.D. **Overview of the Vaccinium Industry in Western Europe**. [S. l.], 1993. Disponível em: https://www.actahort.org/books/346/346_6.htm. Acesso em: 31 out. 2024.

NEPA - UNICAMP. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO**. Campinas, 2004. Disponível em: http://189.28.128.100/nutricao/docs/taco/tab_bras_de_comp_de_alim_doc.pdf. Acesso em: 1 out. 2020.

NESTBY, Rolf *et al.* The European blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and the potential for cultivation. A review. **European Journal of Plant Science and Biotechnology**, [s. l.], v. 5, p. 5–16, 2011.

NEUWALD, Daniel Alexandre. **Arbeitsbereich Nacherntephysiologie und Lagerung**. Ravensburg: Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee, 2020. Disponível em: 31/10/2024. Acesso em: 31 out. 2024.

NEWENHOUSE, A. C. **Growing Fresh Market Pumpkins, Squash and Gourds**. [S. l.], 2012. Disponível em: https://datcp.wi.gov/Documents/mk_fc_81web.pdf. Acesso em: 13 out. 2020.

NEWTON, A. A. **European blackberry (*Rubus fruticosus*) L.** [S. l.], 1913. Disponível em: <https://www.invasive.org/browse/detail.cfm?imgnum=1318011>. Acesso em: 9 out. 2020.

NIETO, Gema. A review on applications and uses of thymus in the food industry. **Plants**, [s. l.], v. 9, n. 8, p. 1–29, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/9/8/961>. Acesso em: 24 nov. 2024.

NISHINARI, Katsuyoshi *et al.* Parameters of Texture Profile Analysis. **Food Science and Technology Research**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 519–521, 2013. Disponível em: <http://jlc.jst.go.jp/DN/JST.JSTAGE/fstr/19.519?lang=en&from=CrossRef&type=abstract>. Acesso em: 24 nov. 2024.

NYBOM, Hilde. Chromosome numbers and reproduction in *Rubus* subgen. *Malachobatus*. **Plant Systematics and Evolution**, [s. l.], v. 152, n. 3, p. 211–218, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00989428>. Acesso em: 24 nov. 2024.

OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. **Mentol en Brasil**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/menthol/reporter/bra>. Acesso em: 24 set. 2024.

OCHIENG, Jared A *et al.* Morphological characterization of blackberry (*Rubus* subgenus *Rubus* Watson) genetic resources in Kenya. **African Journal of Plant Science**, [s. l.], v. 13, n. November, p. 297–308, 2019. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJPS/article-full-text-pdf/25B9AB462399>. Acesso em: 24 nov. 2024.

OECD. **Manual de Oslo**. 3. ed. Oslo: ARTI/FINEP, 1997-. ISSN 00271314. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/manualoslo.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

OECD. Squashes, pumpkins, zucchinis and gourds (*Curcubita* species). In: SAFETY ASSESSMENT OF TRANSGENIC ORGANISMS IN THE ENVIRONMENT. 1. ed. Paris: OECD Publishing, 2016. v. 5: OECD Co, p. 83–150. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264253018-5-en.pdf?expires=1601392409&id=id&accname=guest&checksum=03AD9B8AE1BF19D48B35D977F558C17C>. Acesso em: 24 nov. 2024.

OGUNRINOLA, T. M; AKPAN, U.G. Production of Cassava Starch Bioplastic Film Reinforced with Poly-Lactic Acid (PLA). **International Journal of Engineering Research and Advanced Technology**, [s. l.], v. 4, n. 8, p. 56–61, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.31695/IJERAT.2018.3308>. Acesso em: 24 nov. 2024.

OJAGH, Seyed Mahdi *et al.* Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 122, n. 1, p. 161–166, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610001998>. Acesso em: 24 nov. 2024.

OLIVATO, Juliana Bonametti *et al.* **BY-PRODUCTS OF BREWING PROCESS: A REVIEW. No prelo**. [S. l.: s. n.], 2022.

OLIVEIRA, Dalany Menezes *et al.* Biodegradable coatings on the postharvest of blackberry stored under refrigeration. **Revista Ciencia Agronomica**, [s. l.], v. 44, n. 2, p. 302–309, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/NHKXwYcvCJXd5Htkh9WRWgz/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

OLIVEIRA, Shirlei Aparecida de. **Estudo de adsorção de metais pesados em zeólitas para fins de uso em barreira reativa**. 2011. 250 f. - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/ShirleyAparecidaDeOliveira.pdf.

OLIVEIRA, Carlos Ivan Ribeiro de *et al.* Evaluation of the effect of compatibilizing agent (PP-g-MA) on PP/Thermoplastic starch blends. **Revista Matéria**, [s. l.], v. 24, n. 3, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335823484_Avaliacao_do_efeito_do_agent_e_compatibilizante_PP-g-MA_em_misturas_PPAmido_termoplastico/citation/download. Acesso em: 24 nov. 2024.

OLIVEIRA, Marlizia Adja Lopes de. **Nanogéis termorresponsivos à base de amido de manga e sua aplicabilidade como carreador de moléculas hidrofóbicas**. 2022. 96 f. - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, [s. l.], 2022. Disponível em:

https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/48237/1/Nanogeistermorresponsivosbase_Oliveira_2022.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

OLUWASINA, Olugbenga O. *et al.* Influence of oxidized starch on physicommechanical, thermal properties, and atomic force micrographs of cassava starch bioplastic film. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 135, p. 282–293, 2019.

OVERTON, Santford; MANURA, John J. **Note 43: Volatile Organic Composition In Blueberries**. Palmer: Scientific Instrument Services, 1999. Disponível em: <https://www.sisweb.com/referenc/applnote/app-43.htm>. Acesso em: 24 nov. 2024.

PADMANABHAN, P; CORREA-BETANZO, J; PALIYATH, G. Berries and Related Fruits. *In*: CABALLERO, Benjamin; FINGLAS, Paul M; TOLDRÁ, Fidel (org.). **Encyclopedia of Food and Health**. Oxford: Academic Press, 2016. p. 364–371. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012384947200060X>. Acesso em: 24 nov. 2024.

PAIVA, Matheus Silva de *et al.* Inovação e os efeitos sobre a dinâmica de mercado: uma síntese teórica de Smith e Schumpeter. **Interações (Campo Grande)**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 155, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/inter/v19n1/1518-7012-inter-19-01-0155.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

PAIVA, E.; CARNEIRO, N. P. **Avanços Biotecnológicos na Agricultura Mundial**. Uberlândia, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/33416/1/Avancos-biotecnologicos.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2024.

PANDEY, Abhay K. *et al.* Essential oils from the genus *Thymus* as antimicrobial food preservatives: Progress in their use as nanoemulsions-a new paradigm. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 111, p. 426–441, 2021.

PANTONE. **A Guide to Understanding Color**. [S. l.], 2023. Disponível em: https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/whitepaper_pdfs/l10-001_a_guide_to_understanding_color_communication/l10-001_understanding_color_en.pdf. Acesso em: 9 mar. 2023. Acesso em: 24 nov. 2024.

PARIS, Harry S. *et al.* First Known Image of Cucurbita in Europe, 1503 – 1508. **Annals of botany**, [s. l.], v. 98, p. 41–47, 2006.

PARIS, Harry. Historical records, origins, and development of the edible cultivar groups of Cucurbita pepo (Cucurbitaceae). **Economic Botany - ECON BOT**, [s. l.], v. 43, n. 10, p. 423–443, 1989.

PEANO, Cristiana *et al.* Effect of Palletized Map Storage on the Quality and Nutritional Compounds of the Japanese Plum cv. Angeleno (*Prunus salicina* Lindl.). **Journal of Food Processing and Preservation**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. e12786, 2017. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfpp.12786>. Acesso em: 24 nov. 2024.

PEARCE, David W.; TURNER, R. Kerry. **Economics of Natural Resources and the Environment**. 1. ed. Maryland: Johns Hopkins University Press, 1990. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=ex8vaG6m4RMC>. Acesso em: 24 nov. 2024.

PENG, Cheng *et al.* Transcriptome and metabolome analysis of preharvest internal browning in Nane plum fruit caused by high temperatures. **Horticultural Plant Journal**, [s. l.], 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468014124000256>. Acesso em: 24 nov. 2024.

PEREIRA, Bruna Letícia Buzati; LEONEL, Magali. Resistant starch in cassava products. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 298–302, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274826574_Resistant_starch_in_cassava_products. Acesso em: 24 nov. 2024.

PERKINS-VEAZIE, Penelope. Postharvest handling nad storage of blackberries and raspberries. **Small Fruit News**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 5–7, 2010. Disponível em: <https://rubus.ces.ncsu.edu/wp-content/uploads/2012/10/Vol10-Issue2.pdf? fwd=no>. Acesso em: 24 nov. 2024.

PERKINS-VEAZIE, Penelope; FERNANDEZ, Gina E. **Vitamin C Content in Blackberries During Storage****Review of 3D printing and potential red meat applications**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://www.raspberryblackberry.com/wp-content/uploads/2023/09/17-Vitamin-C-Content-in-Blackberries-During-Storage.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

PERKINS-VEAZIE, P.; KALT, W. **Postharvest storage of blackberry fruit does not increase antioxidant levels**. [S. l.], 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/48856357_Postharvest_Storage_of_Blackberry_Fruit_Does_Not_Increase_Antioxidant_Levels. Acesso em: 31 out. 2024.

PERUMAL, Anand Babu *et al.* Antifungal activity of five different essential oils in vapour phase for the control of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Lasiodiplodia theobromae* in vitro and on mango. **International Journal of Food Science & Technology**, [s. l.], v. 51, n. 2, p. 411–418, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ijfs.12991>. Acesso em: 2 fev. 2023.

PERUMAL, Anand Babu *et al.* Application of essential oils in packaging films for the preservation of fruits and vegetables: A review. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 375, p. 131810, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621028168>. Acesso em: 24 nov. 2024.

PINSKY, Vanessa; KRUGLIANSKAS, Isak. Inovação tecnológica para a sustentabilidade: aprendizados de sucessos e fracassos. **Estudos Avançados**, [s. l.], v. 31, n. 90, p. 107–126, 2017.

PLANT RESOURCES OF THE WORLD (PROW). **Cucurbita moschata**. [S. l.], 2020. Disponível em: <http://www.prota4u.org/protav8.asp?fr=1&h=M4&t=Cucurbita,moschata&p=Cucurbita moschata>. Acesso em: 13 out. 2020.

POINCELOT, R. P. **The biochemistry of composting**. [S. l.], 1972. Disponível em: <https://archive.org/details/biochemistrymeth00poin>. Acesso em: 31 out. 2024.

POLUSZYŃSKA, Joanna *et al.* The effect of temperature on the biodegradation of different types of packaging materials under test conditions. **Archives of Environmental Protection**, [s. l.], v. 47, n. 4, p. 74–83, 2021.

POPOVIĆ, Branko *et al.* Analytical Indicators of Plum Fruit Sensory Characteristic Changes After Seven-Day Storage At Room Temperature. **Agrofor**, [s. l.], v. 3, n. 2, 2018.

PORTO BRAZOS. **Amoras**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.portobrazos.com.br/amoras/>. Acesso em: 13 out. 2020.

PRESTELE, William Henry. **Image of the Tucker variety of plums (scientific name: *Prunus domestica*), with this specimen originating in Williamsfield, Knox County, Illinois, United States**. [S. l.], 1894. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Plum2web.jpg>. Acesso em: 10 fev. 2023.

PUNIRAN, N. *et al.* Fruit colour, size and temperature affect the shelf life of sweet cherry. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 934, p. 995–1002, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/273063656_Fruit_Colour_Size_and_Temperature_Affect_the_Shelf_Life_of_Sweet_Cherry. Acesso em: 24 nov. 2024.

QAZANFARZADEH, Zeinab *et al.* Valorization of brewer's spent grain for sustainable food packaging. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 385, p. 135726, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622053008>. Acesso em: 24 nov. 2024.

QIN, Gaihua *et al.* Evaluation of the volatile profile of 33 *Pyrus ussuriensis* cultivars by HS-SPME with GC-MS. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 134, n. 4, p. 2367–2382, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814612006905>. Acesso em: 24 nov. 2024.

RAIGOND, Pinky; DUTT, Som; SINGH, Brajesh. Resistant Starch in Food. In: MÉRILLON, Jean-Michel; RAMAWAT, Kishan Gopal (org.). **Bioactive Molecules in Food**. 1. ed. New York: Springer Cham, 2019. p. 815–846. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330644723_Resistant_Starch_in_Food. Acesso em: 24 nov. 2024.

RAMESH, M; NARENDRA, G; SASIKANTH, S. A Review on Biodegradable Packaging Materials in Extending the Shelf Life and Quality of Fresh Fruits and Vegetables. *In*: GHOSH, Sadhan Kumar (org.). **Waste Management as Economic Industry Towards Circular Economy**. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 59–65. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-1620-7_6. Acesso em: 24 nov. 2024.

RAMOS, Semíramis R. Ramalho *et al.* **Aspectos técnicos do cultivo da abóbora na região Nordeste do Brasil**. 1. ed. Aracaju: Embrapa, 2010. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/doc_154.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

REBELLO, Flávia De Floriani Pozza. Novas tecnologias aplicadas às embalagens de alimentos. **Revista Agrogeoambiental**, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 370–378, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3052/305226808003.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

REQUE, Priscilla Magro *et al.* Characterization of blueberry fruits (*Vaccinium* spp.) and derived products. **Food Science and Technology (Brazil)**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 773–779, 2015.

REZAEI, Mahsa; MOTAMEDZADEGAN, Ali. The Effect of Plasticizers on Mechanical Properties and Water Vapor Permeability of Gelatin-Based Edible Films Containing Clay Nanoparticles. [s. l.], n. December, p. 178–193, 2015.

RIBEIRO, Milton Cosme *et al.* Tecnologias de rastreabilidade, segurança e controle de resíduos de agrotóxicos na cadeia produtiva de alimentos de origem vegetal: um estudo de revisão. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 12, p. e5291210780, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347863135_Tecnologias_de_rastreabilidade_e_seguranca_e_controle_de_residuos_de_agrotoxicos_na_cadeia_produtiva_de_alimentos_de_origem_vegetal_um_estudo_de_revisao. Acesso em: 24 nov. 2024.

RICH, Nabam; BHARTI, Ajay; KUMAR, Sunil. Effect of bulking agents and cow dung as inoculant on vegetable waste compost quality. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 252, p. 83–90, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417322253>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ROBERTSON, G. L. **Food Packaging: Principles and Practice**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press Taylor and Francis Group, 2006.

RODRIGUES, Camila Gonçalves. **Produção de filmes comestíveis biodegradáveis a partir de bagaço de malte ou subprodutos do processamento de mandioca**. 2022. 169 f. - Universidade Federal de Minas Gerais, [s. l.], 2022.

RODRIGUES, REGIANE MARIA DA SILVA. **Produção e aplicação de embalagens ativas biodegradáveis na conservação de presunto fatiado**. 2015. 0–38 f. - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [s. l.], 2015.

ROMANO, Amanda Sella. **Embalagens ativas e inteligentes: Estudo do desenvolvimento e viabilidade econômica no Brasil**. 2017. 80 f. - Universidade Estadual de Campinas, [s. l.], 2017.

ROMEIRA, Karoline Mansano. **Desenvolvimento E Caracterização De Bioplástico Obtido a Partir Do Amido Residual Proveniente Da Industrialização De Batata Frita**. 2019. 70 f. - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, [s. l.], 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/191222/romeira_km_me_arafcf_int.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 24 nov. 2024.

RONKO, Letícia Zander; TRAVALLINI, Ana Paula; DEMIATE, Ivo Mottin. Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* C.): obtenção e caracterização de diferentes variedades. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 2962–2982, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344147805_Amido_e_bagaco_de_mandioca_Manihot_esculenta_C_obtencao_e_caracterizacao_de_diferentes_variedades. Acesso em: 24 nov. 2024.

ROSA, O. O.; CARVALHO, E. P. Características microbiológicas de frutos e hortaliças minimamente processados. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 84–92, 2000.

ROSENBERG, Nathan. Factors Affecting the Diffusion of Technology. **Explorations in Economic History**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 3–33, 1972. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0014498372900010>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ROSENBOOM, Jan Georg; LANGER, Robert; TRAVERSO, Giovanni. Bioplastics for a circular economy. **Nature Reviews Materials**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 117–137, 2022.

ROSENDO, Vitória. **Nova cultivar de amora da Embrapa aumenta eficiência da colheita em 30%**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/nova-cultivar-de-amora-da-embrapa-aumenta-eficiencia-da-colheita-em-30/>. Acesso em: 1 nov. 2024.

ROUSSOS, Peter A. *et al.* Plum (*Prunus domestica* L. and *P. salicina* Lindl.). In: SIMMONDS, Monique S J; PREEDY, Victor R (org.). **Nutritional Composition of Fruit Cultivars**. San Diego: Academic Press, 2015. p. 639–666. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012408117800026X>. Acesso em: 24 nov. 2024.

RUJNÍĆ-SOKELE, Maja; PILIPOVIĆ, Ana. Challenges and opportunities of biodegradable plastics: A mini review. **Waste Management and Research**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 132–140, 2017.

SADLER, George; MURPHY, Patricia. PH and Titratable Acidity. In: FOOD ANALYSIS. [S. l.]: Springer Science+Business Media, 2010. p. 219–238. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/227106025_PH_and_Titratable_Acidity. Acesso em: 24 nov. 2024.

SALAS, Pamela Torres *et al.* Enzymatic Modification for Ascorbic Acid and Alpha-Tocopherol to Enhance their Stability in Food and Nutritional Application. **The Open Food Science Journal**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1–9, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/39389294_Enzymatic_Modification_for_Ascorbic_Acid_and_Alpha-Tocopherol_to_Enhance_their_Stability_in_Food_and_Nutritional_Application. Acesso em: 24 nov. 2024.

SALATA, Ariane da Cunha; EVANGELISTA, Regina Marta; CARDOSO, Antonio Ismael Inácio. Abóbora minimamente processada em diferentes cortes. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 4004–4010, 2010. Disponível em: http://www.abhorticultura.com.br/EventosX/Trabalhos/EV_4/A2578_T4439_Comp.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

SAMTANI, Jayesh B.; KUSHAD, Mosbah M. **A Longer Marketing Life for Blackberry and Raspberry Fruit**. Petersburg: Virginia Cooperative Extension, 2015.

SANCHEZ, Erika. Fruit quality attributes of ten Colombian blackberry (*Rubus glaucus* Benth.) genotypes. **Agronomia Colombiana**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 9–18, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341464420_Fruit_quality_attributes_of_ten_Colombian_blackberry_Rubus_glaucus_Benth_genotypes. Acesso em: 24 nov. 2024.

SANTOS, Thaís Barbosa dos. **Caracterização Físico-Química e Morfológica de Amidos do Tipo Ceroso de Genótipos Seleccionados de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2018. 49 f. - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/jspui/4997#preview-link0>. Acesso em: 31 jan. 2023.

SANTOS, Yvana Maria Gomes dos. Contextualização sobre frutas e hortaliças. In: OLIVEIRA, Emanuel Neto Alves de; SANTOS, Dyego da Costa (org.). **Conservação Pós-colheita: Frutas e Hortaliças**. 1. ed. Natal: [s. n.], 2015. p. 11–14. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Kb_YtD3IWBw. Acesso em: 24 nov. 2024.

SANTOS, Fabiana Helen dos. **Elaboração de embalagens biodegradáveis ativas a partir de resíduos agroindustriais para conservação de alimentos**. 2019. 163 f. - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha, [s. l.], 2019. Disponível em: https://media.neliti.com/media/publications/112355-ID-pengaruh-struktur-aktiva-ukuran-perusaha.pdf%0Aacholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Funcionalidad+Familiar+en+Alumnos+de+1º+y+2º+grado+de+secundaria+de+la+institución+educativa+parroquial+“Peq. Acesso em: 24 nov. 2024.

SANTOS, Clidevan Oliveira. **Óleo essencial de *Mentha piperita* L. : Uma breve revisão de literatura**. 2011. 20 f. - Universidade Estadual da Paraíba, [s. l.], 2011. Disponível em: [http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/388/1/PDF - Clidevan Oliveira Santos.pdf](http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/388/1/PDF-Clidevan%20Oliveira%20Santos.pdf). Acesso em: 24 nov. 2024.

SANTOS, Claudia Cristina Auler do Amaral; ALMEIDA, Alex Fernando de. Inovação Tecnológica E Sustentabilidade: Bases Para O Futuro Da Indústria De Alimentos. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, [s. l.], v. 7, n. Especial, p. 1–2, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340927400_INOVACAO_TECNOLOGICA_E_SUSTENTABILIDADE_BASES_PARA_O_FUTURO_DA_INDUSTRIA_DE_ALIMENTOS. Acesso em: 24 nov. 2024.

SARAN, Luciana. Produção, propriedades e aplicações de bioplástico obtido a partir da cana-de-açúcar. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 52–63, 2011.

SARTORI, Ivar Antonio; ILHA, Luciano Larruscahim Hamilton. Anelamento e incisão anelar em fruteiras de caroço. **Ciência Rural**, [s. l.], v. 35, n. 3, p. 724–729, 2005.

SASAKI, F. F. **Processamento mínimo de abóbora (Cucurbita moschata Duch.): Alterações fisiológicas, qualitativas e microbiológicas**. 2005. 145 f. - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11144/tde-15072005-165826/publico/FabianaSasaki.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

SCHAEFFER, Daiane. **Obtenção E Caracterização De Biopolímeros a Partir De Fécula De Mandioca E Amido De Milho**. 2020. 62 f. - Universidade do Vale do Taquari, [s. l.], 2020.

SCHALCH, Valdir; MASSUKADO, Luciana; BIANCO, Carolina. Compostagem. In: NUNES, Ramom Rachide; REZENDE, Maria Olímpia de Oliveira (org.). **Recurso Solo: Propriedade e Usos**. 1. ed. [S. l.]: Cubo, 2015. p. 27. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/291830917_Compostagem. Acesso em: 24 nov. 2024.

SCHIAVON, Andressa Vighi *et al.* Refrigerated storage of blackberry cultivar 'BRS Caingua' harvested at different ripeness stages. **Revista Ceres**, [s. l.], v. 70, n. 2, p. 32–40, 2023.

SCHMIDT, Erich *et al.* Chemical composition, olfactory evaluation and antioxidant effects of essential oil from *Mentha x piperita*. **Natural Product Communications**, [s. l.], v. 4, n. 8, p. 1107–1112, 2009.

SCHUITEMAKER, Reuben; XU, Xun. Product traceability in manufacturing: A technical review. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 93, p. 700–705, 2020.

SELLAMUTHU, Periyar Selvam; SIVAKUMAR, Dharini; SOUNDY, Puffy. Antifungal Activity and Chemical Composition of Thyme, Peppermint and Citronella Oils in Vapor Phase against Avocado and Peach Postharvest Pathogens. **Journal of Food Safety**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 86–93, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263303958_Antifungal_Activity_and_Chemical_Composition_of_Thyme_Peppermint_and_Citronella_Oils_in_Vapor_Phase_against_Avocado_and_Peach_Postharvest_Pathogens. Acesso em: 3 fev. 2023.

SERRANO, M. *et al.* The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 115–123, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856404000827>. Acesso em: 24 nov. 2024.

SHABBIR, NAGEENA *et al.* Peppermint Oil, Its Useful, and Adverse Effects on Human Health: a Review. **Innovare Journal of Ayurvedic Sciences**, [s. l.], v. 8, n. 6, p. 1–4, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347034154_PEPPERMINT_OIL_ITS_USEFUL_AND_ADVERSE_EFFECTS_ON_HUMAN_HEALTH_A_REVIEW. Acesso em: 24 nov. 2024.

SHAH, Syed *et al.* Influence of edible coatings and storage duration on post-harvest performance of plum. **Pure and Applied Biology**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 81–96, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344279717_Influence_of_edible_coatings_and_storage_duration_on_post-harvest_performance_of_plum. Acesso em: 24 nov. 2024.

SHAHRIN, Ruzanna *et al.* Green “Eco-Label” or “Greenwashing”? Building Awareness About Environmental Claims of Marketers. **Advanced Science Letters**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 1–6, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317732576_Green_Eco-Label_or_Greenwashing_Building_Awareness_About_Environmental_Claims_of_Marketers. Acesso em: 24 nov. 2024.

SHARMA, Shubham *et al.* Characterization and antimicrobial activity of biodegradable active packaging enriched with clove and thyme essential oil for food packaging application. **Foods**, [s. l.], v. 9, n. 8, p. 1117, 2020.

SHARMA, Shubham *et al.* Essential oils as additives in active food packaging. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 343, p. 128403, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128403>. Acesso em: 24 nov. 2024.

SHEN, Maocai *et al.* Are biodegradable plastics a promising solution to solve the global plastic pollution?. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 263, p. 114469, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114469>. Acesso em: 24 nov. 2024.

SHEWFELT, Robert L. Quality of Minimally Processed Fruits and Vegetables. **Journal of Food Quality**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 143–156, 1987. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-4557.1987.tb00855.x>. Acesso em: 24 nov. 2024.

SHIRZAD, Habib *et al.* Effect of aloysia citrodora essential oil on biochemicals, antioxidant characteristics, and shelf life of strawberry fruit during storage. **Metabolites**, [s. l.], v. 11, n. 5, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-1989/11/5/256>. Acesso em: 24 nov. 2024.

SILVA, Ana Veruska Cruz da *et al.* **Circular Técnica 66 - Processamento Mínimo da Abóbora**. Aracaju: [s. n.], 2013. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2013/ct_66.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

SILVA, Ebenézer de Oliveira *et al.* **Processamento Mínimo de Produtos Hortifrutícolas**. 1. ed. Fortaleza: Embrapa, 2011-. ISSN 2179-8184. Disponível em: www.cnpat.embrapa.br. Acesso em: 24 nov. 2024.

SILVA, Jéssica Rayane Bezerra da. REDUÇÃO DO CONSUMO E SUSTENTABILIDADE: Um Estudo do Comportamento de Redução do Consumo de Plásticos Descartáveis. **Curso de Graduação em Administração**, [s. l.], p. 22, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15428/1/JRBS29082019.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

SILVA, Maria Luiza Tonetto; BRINQUES, Graziela Brusch; GURAK, Poliana Deyse. Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amido de milho contendo farinha de subproduto de broto. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 23, p. 1–13, 2020.

SILVESTRE, Álvaro; VIEIRA, Eros; BARRETO, Letícia. Importância das zeólitas na indústria do petróleo e no craqueamento em leito fluidizado (fcc). **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 63–75, 2012.

SINGH, R. P. Scientific principles of shelf life evaluation. *In*: MAN, C M D; JONES, A A (org.). **Shelf Life Evaluation of Foods**. 1. ed. Boston, MA: Springer US, 1994. p. 3–26. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2095-5_1. Acesso em: 24 nov. 2024.

SINHA, Nirmal *et al.* **Handbook of Vegetables and Vegetable Processing**. 1. ed. Singapore: Blackwell Publishing Ltd., 2011. Disponível em: https://ubblab.weebly.com/uploads/4/7/4/6/47469791/handbook_of_vegetables_&_vegetable_processing.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

SISLER, Edward C.; SEREK, Margrethe; DUPILLE, Eve. Comparison of cyclopropene, 1-methylcyclopropene, and 3,3-dimethylcyclopropene as ethylene antagonists in plants. **Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 169–174, 1996.

SIVAKUMAR, Dharini; BAUTISTA-BAÑOS, Silvia. A review on the use of essential oils for postharvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. **Crop Protection**, [s. l.], v. 64, p. 27–37, 2014.

SIVARAM, Salini *et al.* The beneficial role of plant based thymol in food packaging application: A comprehensive review. **Applied Food Research**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 100214, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277250222200169X>. Acesso em: 24 nov. 2024.

SMRKE, Tina *et al.* Short-Term Storage in a Modified Atmosphere Affects the Chemical Profile of Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Fruit. **Horticulturae**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 194, 2024.

SOARES, N. F. F. *et al.* Antimicrobial edible coating in post-harvest conservation of guava. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 281–289, 2011.

SOETHE, Cristina *et al.* Quality and functional properties of ‘Tupy’ blackberry stored in modified atmosphere conditions. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 1–9, 2019.

SOMOGYI, L. P. Plums and prunes. *In*: BARRETT, D. M.; SOMOGYI, L.; RAMASWAMY, H. (org.). **Processing of fruits science and technology**. 2. ed. [S. l.]: CRC Press, 2005. p. 513–530.

SONG, J. H. *et al.* Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, England, v. 364, n. 1526, p. 2127–2139, 2009.

SONG, Jun *et al.* Effect of ozone treatment and controlled atmosphere storage on quality and phytochemicals in highbush blueberries. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 600, p. 417–423, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285231497_Effect_of_ozone_treatment_and_controlled_atmosphere_storage_on_quality_and_phytochemicals_in_highbush_blueberries. Acesso em: 24 nov. 2024.

SONG, Hyo Nam *et al.* Impact of various factors on color stability of fresh blueberry juice during storage. **Preventive Nutrition and Food Science**, Korea (South), v. 23, n. 1, p. 46–51, 2018.

SOUSA, M. B. *et al.* Effect of processing on the texture and sensory attributes of raspberry (cv. Heritage) and blackberry (cv. Thornfree). **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 78, n. 1, p. 9–21, 2007.

SOUSA, Suliene Dantas do Nascimento. **Estudo da adsorção de etileno em filmes compósitos de quitosana e zeólita**. 2016. 74 f. - Universidade Federal do Ceará, [s. l.], 2016.

SOUZA, Maria Beatriz. **Amora: Qualidade pós-colheita**. [S. l.]: Agro, 2007. Disponível em: https://www.inia.pt/images/publicacoes/livros-manuais/amora_qualidade_pos_colheita.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.

SOUZA, G.T.A.M. de *et al.* Polyethylene and bioplastic biodegradation in soil. **Revista Ambiente e Agua**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 1172–1180, 2016.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 24–30, 2000.

SPEARS, Karen; POWELL, Pamela; YANG, Wei. **What is a Food Desert?**. [S. l.], 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/307921876_What_is_a_Food_Desert. Acesso em: 30 nov. 2020.

STANDARDS, European. **BS EN 13432:2000 PACKAGING**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.en-standard.eu/bs-en-13432-2000-packaging-requirements-for-packaging-recoverable-through-composting-and-biodegradation-test-scheme-and-evaluation-criteria-for-the-final-acceptance-of-packaging/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

STEFFENS, C. A. *et al.* **Armazenamento de Ameixas**. Friburgo: Epagri, 2017. Disponível em: [https://biblioteca.epagri.sc.gov.br/consulta/busca?b=pc&id=126471&biblioteca=vazio&busca=\(autoria:%22ARGENTA, L. C.%22\)&qFacets=\(autoria:%22ARGENTA, L. C.%22\)&sort=titulo-sort&paginacao=t&paginaAtual=1](https://biblioteca.epagri.sc.gov.br/consulta/busca?b=pc&id=126471&biblioteca=vazio&busca=(autoria:%22ARGENTA, L. C.%22)&qFacets=(autoria:%22ARGENTA, L. C.%22)&sort=titulo-sort&paginacao=t&paginaAtual=1). Acesso em: 24 nov. 2024.

STRACKE, Marcelo Paulo *et al.* Aplicação de biofilme comestível em ameixas para aumentar seu armazenamento. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, [s. l.], v. 21, n. 6, p. 4029–4050, 2023.

STRIK, Bernadine C. *et al.* Worldwide blackberry production. **HortTechnology**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 205–213, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/43259046_Worldwide_Blackberry_Production. Acesso em: 24 nov. 2024.

SUZUKI, Yasuo. Polyol metabolism and stress tolerance in horticultural plants. *In*: KANAYAMA, Yoshinori; KOCHETOV, Alexey (org.). **Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants**. 1. ed. [S. l.]: Springer, 2015. p. 59–73. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-4-431-55251-2_5. Acesso em: 24 nov. 2024.

TANG, Yadong *et al.* Electrospun Gelatin Nanofibers Encapsulated with Peppermint and Chamomile Essential Oils as Potential Edible Packaging. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 67, n. 8, p. 2227–2234, 2019.

TAŞDEMİR, Derya Çevik; ÇAYIRAĞASI, Filiz. INTEGRATED APPROACH ON A GREEN LABELING AND GREEN MARKETING. **International Journal of Management and Applied Science**, [s. l.], v. 3, n. 9, p. 78–80, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/359439075_INTEGRATED_APPROACH_ON_A_GREEN_LABELING_AND_GREEN_MARKETING. Acesso em: 24 nov. 2024.

TEIXEIRA, Paulo *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.

THEWES, Fabio Rodrigo; BRACKMANN, Auri; NEUWALD, Daniel Alexandre. Dynamics of sugars, anaerobic metabolism enzymes and metabolites in apples stored under dynamic controlled atmosphere. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 255, n. December 2018, p. 145–152, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.027>. Acesso em: 24 nov. 2024.

THOMPSON, Richard C. *et al.* Our plastic age. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s. l.], v. 364, n. 1526, p. 1973–1976, 2009.

TIDD, Joe. Innovation management in context : environment , organization and performance. **International Journal of Management Reviews**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 169–183, 2001.

TORSKANGERPOLL, Kjell; ANDERSEN, Øyvind M. Colour stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 89, n. 3, p. 427–440, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223567188_Colour_stability_of_anthocyanins_in_aqueous_solutions_at_various_pH_values#:~:text=Studies showed the anthocyanins have,18%2C23%2C 24%5D. Acesso em: 24 nov. 2024.

TOSUN, Ilkay; USTUN, N. Sule; TEKGULER, Belkis. Physical and chemical changes during ripening of blackberry fruits. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 65, n. 1, p. 87–90, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000100012>. Acesso em: 24 nov. 2024.

TRABER, Maret G; ATKINSON, Jeffrey. Vitamin E, antioxidant and nothing more. **Free radical biology & medicine**, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 4–15, 2007. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17561088>. Acesso em: 24 nov. 2024.

TRAVALINI, Ana Paula. **Filmes de amido de mandioca reforçados com nanopartículas de celulose visando aplicação em embalagens alimentícias “eco-friendly”**. 2019. 164 f. - Universidade Estadual de Ponta Grossa, [s. l.], 2019.

TRIPATHI, Pramila; DUBEY, N. K.; SHUKLA, A. K. Use of some essential oils as post-harvest botanical fungicides in the management of grey mould of grapes caused by *Botrytis cinerea*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 39–46, 2008.

UNIC RIO. **Objetivos do desenvolvimento sustentável**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

UNITED NATIONS. **UNdata | record view | Blueberries**. [S. l.], 2020. Disponível em: <http://data.un.org/Data.aspx?d=FAO&f=itemCode%3A552>. Acesso em: 6 fev. 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Blueberries, raw**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/2346411/nutrients>. Acesso em: 24 nov. 2024.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Plum, raw**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/2344760/nutrients>. Acesso em: 29 out. 2024.

UNIVERSITY OF SASKATCHEWAN. **Plums**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://research-groups.usask.ca/fruit/documents/other-crops-/plums-pdf.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.

USDA. **FoodData Central**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://ndb.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/786757/nutrients>. Acesso em: 3 out. 2020.

USENIK, Valentina *et al.* Quality changes during ripening of plums (*Prunus domestica* L.). **Food Chemistry**, [s. l.], v. 111, n. 4, p. 830–836, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814608005086>. Acesso em: 24 nov. 2024.

USENIK, V.; STAMPAR, F.; KASTELEC, D. Indicators of plum maturity: When do plums become tasty?. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 167, p. 127–134, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423814000065>. Acesso em: 24 nov. 2024.

VAN SOEST, J. J.G.; ESSERS, P. Influence of amylose-amylopectin ratio on properties of extruded starch plastic sheets. **Journal of Macromolecular Science - Pure and Applied Chemistry**, [s. l.], v. 34, n. 9, p. 1665–1689, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10601329708010034>. Acesso em: 24 nov. 2024.

VARMA, Vempalli Sudharsan; MAYUR, Chatuphale; KALAMDHAD, Ajay. Effects of bulking agent in composting of vegetable waste and leachate control using rotary drum composter. **Sustainable Environment Research**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 245–256, 2014.

VASCONCELLOS, J. Andrés. Regulatory and Safety Aspects of Refrigerated Minimally Processed Fruits and Vegetables: A Review. *In*: ALZAMORA, S; TAPIA, M S; LOPEZ-MALO, A (org.). **Minimally Processed Fruits and Vegetables: fundamental aspects and applications**. 1. ed. Gaithersburg: Aspen Publishers, 2000. (Food Engineering Series). p. 360. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=2gTCY5Dvha4C>. Acesso em: 24 nov. 2024.

VAVERKOVÁ, Magdalena Daria; ADAMCOVÁ, Dana. Biodegradability of bioplastic materials in a controlled composting environment. **Journal of Ecological Engineering**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 155–160, 2015.

VELDERRAIN-RODRÍGUEZ, G. R. *et al.* Technologies in Fresh-Cut Fruit. *In*: MINIMALLY PROCESSED FOODS. 1. ed. Bihar: Springer International Publishing, 2015. p. 79–103.

VENKATESH, S. *et al.* Microbial degradation of plastics: Sustainable approach to tackling environmental threats facing big cities of the future. **Journal of King Saud University - Science**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 101362, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101362>. Acesso em: 24 nov. 2024.

VIEIRA, Renata Leia Demario. **AMIDO DE TRIGO MOURISCO (*Fagopyrum esculentum*): CARACTERIZAÇÃO E EFEITOS DAS MODIFICAÇÕES FÍSICAS NAS PROPRIEDADES TÉRMICAS, ESTRUTURAIS E MORFOLÓGICAS**. 2020. 101 f. - Universidade Estadual de Ponta Grossa, [s. l.], 2020. Disponível em: [https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/3188/1/Renata Leia Demario Vieira.pdf](https://tede2.uepg.br/jspui/bitstream/prefix/3188/1/Renata%20Leia%20Demario%20Vieira.pdf). Acesso em: 24 nov. 2024.

VIEIRA, Ana Luíza Santos *et al.* Espectroscopia no infravermelho, propriedades térmicas e de cristalinidade do amido isolado de diferentes cultivares de sorgo. *In: INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA NO CAMPO DA ENGENHARIA E DA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS*. [S. l.]: Atena Editora, 2020. p. 78–84. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/investigacao-cientifica-no-campo-da-engenharia-e-da-tecnologia-de-alimentos-3>. Acesso em: 24 nov. 2024.

VIEIRA, João. Fundamentos da Colorimetria. [s. l.], p. 19–58, 2011.

VILLA, Cristian C. *et al.* Zeolites for food applications: A review. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 46, p. 101577, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429222000359>. Acesso em: 24 nov. 2024.

VITTI, Maria Carolina Dário. **Aspectos fisiológicos, bioquímicos e microbiológicos em beterrabas minimamente processadas**. 2003. 116 f. - Universidade de São Paulo, [s. l.], 2003.

WANG, R. *et al.* Distribution of sugar and organic acid components within the KOB heritage apple cultivar collection. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 858, p. 89–98, 2010.

WARREN, Frederick J.; GIDLEY, Michael J.; FLANAGAN, Bernadine M. Infrared spectroscopy as a tool to characterise starch ordered structure - A joint FTIR-ATR, NMR, XRD and DSC study. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 139, p. 35–42, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486171501156X>. Acesso em: 24 nov. 2024.

WILLIAMS, Charles E. Environmental impact of the Iron and Steel Industry in the Early Industrial Revolution. *In: HILLSTROM, K.; HILLSTROM, L. C. (org.). The Industrial Revolution in America*. [S. l.]: ABC-CLIO, 2005. p. 157–182. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319837552_Environmental_impact_of_the_Iron_and_Steel_Industry_in_the_Early_Industrial_Revolution. Acesso em: 24 nov. 2024.

WONG, Freddawati Rashiddy *et al.* Wettability, Water Absorption, Mechanical and Chemical Properties of Water Spinach Bioplastic. **Malaysian Journal of Chemistry**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 342–353, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/371948691_Wettability_Water_Absorption_Mechanical_and_Chemical_Properties_of_Water_Spinach_Bioplastic. Acesso em: 24 nov. 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Adolescent Health and Ageing**. [S. l.], 2021. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/adolescenthealth#tab=tab_1. Acesso em: 24 set. 2024.

WREGE, M. S.; HERTER, F. G. A cultura do mirtilo fatores climáticos. *In: RASEIRA, M. C. B.; ANTUNES, L. E. C. (org.). A cultura do Mirtilo*. Documentos. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 11–14.

XYLIA, Panayiota *et al.* Quality attributes and storage of tomato fruits as affected by an eco-friendly, essential oil-based product. **Plants**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 20, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/6/1125>. Acesso em: 24 nov. 2024.

YADAV, Ritu; RAY, Aradhita. Incorporation of oxygen scavenger sachet for active packaging of minimally processed orange (*Citrus sinensis*). **Haryana Journal of Horticultural Sciences**, [s. l.], v. 39, n. 3/4, p. 228–231, 2010.

YAN, Xiaoxue *et al.* Changes of the Aroma composition and other quality traits of blueberry “Garden Blue” during the cold storage and subsequent shelf life. **Foods**, [s. l.], v. 9, n. 9, 2020.

YIN, Mingyue *et al.* Extration, identification and stability ananlysis of anthocyanins from organic Guizhou blueberries in China. **Food Science and Technology (Brazil)**, [s. l.], v. 42, p. 1–8, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/ftwPNcxFkkJSC4fzFZXNDwH/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 24 nov. 2024.

YOUSUF, Owais; TITIKSHYA, Susuree; SINGH, Anupama. Fresh-cut fruits and vegetables: scope in developing countries and approaches to improve quality and safety. **International Journal of Chemical Studies**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 2226–2229, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/326092027>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ZAMBRANO-ZARAGOZA, M. L. *et al.* The effect of nano-coatings with α -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut “red Delicious” apples. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [s. l.], v. 22, p. 188–196, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S146685641300146X>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ZEKO-PIVAČ, Anđela *et al.* The Potential of Brewer’s Spent Grain in the Circular Bioeconomy: State of the Art and Future Perspectives. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, [s. l.], v. 10, p. 15, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2022.870744>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ZHANG, Jiguang *et al.* Comparative investigation on aroma profiles of five different mint (*Mentha*) species using a combined sensory, spectroscopic and chemometric study. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 371, n. September 2021, p. 131104, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131104>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ZHANG, Weiqing *et al.* Effect of lemon essential oil-enriched coating on the postharvest storage quality of citrus fruits. **Food Science and Technology (Brazil)**, [s. l.], v. 42, n. Food Sci. Technol, 2022 42, p. e125421, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/fst.125421>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ZHANG, Yafei *et al.* Polyphenols and polyphenols-based biopolymer materials: Regulating iron absorption and availability from spontaneous to controllable. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 63, n. 33, p. 12341–12359, 2023.

ZHANG, Xu *et al.* Changes of Aroma Components in Hongdeng Sweet Cherry During Fruit Development. **Agricultural Sciences in China**, [s. l.], v. 6, n. 11, p. 1376–1382, 2007.

ZHANG, Rongfei; WANG, Xiangyou; CHENG, Meng. Preparation and characterization of potato starch film with various size of Nano-SiO₂. **Polymers**, [s. l.], v. 10, n. 10, p. 9–12, 2018.

ZHU, Jingkun; WANG, Can. Biodegradable plastics: Green hope or greenwashing?. **Marine Pollution Bulletin**, [s. l.], v. 161, n. PB, p. 111774, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111774>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ZIA-UL-HAQ, Muhammad *et al.* Rubus Fruticosus L.: Constituents, Biological Activities and Health Related Uses. **Molecules (Basel, Switzerland)**, [s. l.], v. 19, p. 10998–11029, 2014.

ZIEDAN, E.; FARRAG, E. Fumigation of Peach Fruits with Essential Oils to Control Postharvest Decay. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, [s. l.], v. 4, n. 5, p. 512–519, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228490792_Fumigation_of_peach_fruits_with_essential_oils_to_control_postharvest_decay. Acesso em: 3 fev. 2023.

ZINK, D. L. The impact of consumer demands and trends on food processing. **Emerging infectious diseases**, [s. l.], v. 3, n. 4, p. 467–469, 1997. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2640073/pdf/9366598.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ZLATIĆ, Emil *et al.* Comparative analysis of aroma compounds in “Bartlett” pear in relation to harvest date, storage conditions, and shelf-life. **Postharvest Biology and Technology**, [s. l.], v. 117, p. 71–80, 2016.

ZULLO, R.; IANNACE, S. The effects of different starch sources and plasticizers on film blowing of thermoplastic starch: Correlation among process, elongational properties and macromolecular structure. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 77, n. 2, p. 376–383, 2009.