



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS

PAULA KARINE GONÇALVES PEREIRA

REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS À BASE DE QUITOSANA E EXTRATOS
DE *CURCUMA LONGA* L. EM UVAS TIPO VITÓRIA: PREPARAÇÃO,
CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO

JOÃO PESSOA – PB

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P436r Pereira, Paula Karine Gonçalves.

Revestimentos comestíveis à base de quitosana e extratos de Curcuma longa L. em uvas tipo Vitória : preparação, caracterização e aplicação / Paula Karine Gonçalves Pereira. - João Pessoa, 2024.

158 f. : il.

Orientação: Itamara Farias Leite.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Conservação de frutas. 2. Quitosana. 3. Curcuma longa L. 4. Uva Vitória. 5. Revestimento comestível. I. Leite, Itamara Farias. II. Título.

UFPB/BC

CDU 664.853:634.1(043)

PAULA KARINE GONÇALVES PEREIRA

**REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS À BASE DE QUITOSANA E EXTRATOS
DE *CURCUMA LONGA* L. EM UVAS TIPO VITÓRIA: PREPARAÇÃO,
CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Desenvolvimento e Propriedades de Materiais.

Orientadora: Profa. Dra. Itamara Farias Leite

JOÃO PESSOA – PB

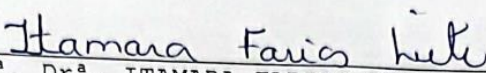
2024

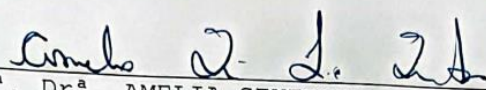
PAULA KARINE GONÇALVES PEREIRA

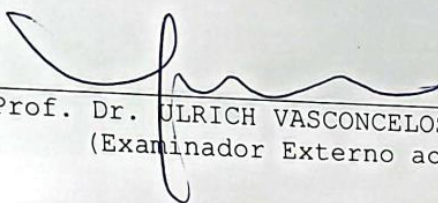
**REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS À BASE DE QUITOSANA E EXTRATOS
DE *CURCUMA LONGA* L. EM UVAS TIPO VITÓRIA: PREPARAÇÃO,
CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO**

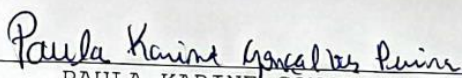
Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Materiais da Universidade
Federal da Paraíba, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Mestre em Ciência
e Engenharia de Materiais.

Aprovada em: 30 de Julho de 2024


Prof^a. Dr^a. ITAMARA FARIAS LEITE - UFPB/PPCEM
(Presidente, Orientadora)


Prof^a. Dr^a. AMELIA SEVERINO FERREIRA E SANTOS
(Examinadora Interna)


Prof. Dr. ULRICH VASCONCELOS DA ROCHA GOMES
(Examinador Externo ao Programa)


PAULA KARINE GONÇALVES PEREIRA
(Discente)

Dedico este trabalho à mamãe e papai (*in
memoriam*) por todo amor e suporte.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, pelas oportunidades, sabedoria, proteção, misericórdia e pelo discernimento para a realização dessa pesquisa.

À Nossa Senhora, por tudo. Salve Maria!

Aos meus pais, Maria Nazaré Gonçalves Pereira e Antônio José Pereira (*in memoriam*), por todo o suporte, proteção, cuidado, amor, e principalmente minha mãe, por sempre me motivar a persistir nos meus sonhos.

À minha orientadora, Itamara Farias Leite, por todo suporte, compreensão e ensinamentos no decorrer do mestrado. És um exemplo de profissional, pela sua dedicação e amor pela pesquisa, sua orientação foi fundamental para o sucesso desse trabalho, aqui deixo registrado meu muito obrigada.

Ao meu irmão, Paulo Cesar Gonçalves Pereira, que, apesar da distância, sempre se faz presente, me incentivando e ajudando em tudo que precisar.

Ao meu namorado, Alan Robson, por toda paciência, compreensão e amor em mais uma etapa da vida.

À Natália Fernanda, por todo incentivo e amizade na vida e no mestrado.

A todos os técnicos de laboratório que contribuíram na realização das análises que foram necessárias, em especial a Fábio e Rivaildo.

Aos professores da banca examinadora, pela disponibilidade e contribuição nesse trabalho.

Ao Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste (CERTBIO) da Universidade Federal de Campina Grande, pela doação da quitosana usada nesse estudo e sua caracterização.

Por fim, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o sucesso dessa pesquisa.

Gratidão a todos!

Disse-lhes ele: “Lançai a rede ao lado direito da barca e achareis.” Lançaram-na, e já não podiam arrastá-la por causa da grande quantidade de peixes.

João 21:6

RESUMO

PEREIRA, Paula Karine Gonçalves. **Revestimentos comestíveis à base de quitosana e extratos de *Curcuma longa* L. em uvas tipo Vitória: preparação, caracterização e aplicação.** 2024. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Centro de Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2024.

Várias técnicas de conservação de frutas vêm sendo empregadas com o intuito de diminuir o desperdício. O uso de revestimentos comestíveis tem atraído a atenção de produtores, comerciantes e pesquisadores, por ser uma tecnologia inovadora em estender a vida comercial tanto de frutas quanto de hortaliças. As propriedades desses revestimentos podem ser otimizadas com a adição de compostos bioativos como extratos de *Curcuma longa* L., a fim de conferir ao filme de quitosana, ação antioxidante e antimicrobiana, de modo a melhorar a qualidade e o tempo de prateleira da Uva-Vitória usada como teste, oriunda de Petrolina-PE. Extratos de cúrcuma usando diferentes solventes (etanol ExEt, vinagre ExV e a mistura entre ambos na proporção 1:1 v/v ExEtV) foram preparados e adicionados a uma solução de quitosana a 2% m/v para obter formulações nas concentrações de 16, 28 e 37% v/v de extratos. No processo de extração, o etanol se mostrou muito eficiente no desprendimento dos pigmentos curcuminóides, seguido da mistura de solventes (etanol:vinagre). Os extratos e as formulações quitosana:extratos foram caracterizados por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e espectroscopia de absorção molecular na região do ultravioleta – visível (UV-Vis). Através desses espectros, foi possível identificar a curcumina como o principal bioativo presente em maior quantidade na cúrcuma em estudo. A análise de potencial Zeta mostrou que todas as formulações contendo solução de quitosana, exceto Q37ExV, apresentaram valores maiores que +30mV, demonstrando a importância da quitosana no equilíbrio e estabilidade das nanopartículas; conferindo também as formulações, a viscosidade necessária para o revestimento da fruta. Na atividade antimicrobiana, a formulação Q37ExEtV apresentou resultados relevantes, pois além de promover ação biocida para *Escherichia coli* ATCC 25922 e *Candida albicans* ATCC 76645, apresentou atividade com elevado percentual de redução acima de 93% para *Staphylococcus aureus* ATCC 13150 e *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25783. As demais formulações (Q37ExEt e Q37ExV) apresentaram também resultados positivos, conferindo propriedades bactericidas e fungicidas. QBase não apresentou atividade antioxidante (AA), porém as formulações de quitosana contendo ExEt mostraram bons resultados, apresentando valores crescentes conforme aumentava-se a quantidade de extratos na amostra (Q37ExEt, 75%). Valores satisfatórios também foram alcançados para as formulações Q37ExEtV. Por fim, as Uvas-Vitória após recobrimento foram analisadas suas propriedades físico-químicas ao longo de 21 dias. Através desse estudo, foi possível evidenciar que o extrato ExEt assim como a formulação Q37ExEt, promoveram maior estabilidade aos parâmetros físico-químicos da fruta, como consequência dos resultados promissores relacionados a eficiência do etanol no processo de extração dos curcuminóides, como comprovado através da resposta antioxidante das formulações. Esse efeito se deve também a formação de revestimentos com características protetoras que favorece na manutenção da qualidade, tendendo a prolongar o tempo de prateleira da uva, o que não foi observado com o revestimento de Q37ExEtV, apesar dos excelentes resultados de atividade antioxidante e antimicrobiana.

Palavras-chave: Rizoma. Bioativos. Revestimentos. Frutas.

ABSTRACT

PEREIRA, Paula Karine Gonçalves. **Edible coatings based on chitosan and *Curcuma longa* L. extracts in Vitória grapes: preparation, characterization and application.** 2024. Dissertation (Master's Degree in Materials Science and Engineering) - Postgraduate Program in Materials Science and Engineering. Technology Center. Federal University of Paraíba, João Pessoa, 2024.

Several fruit preservation techniques have been used to reduce waste. The use of edible coatings has attracted the attention of producers, traders and researchers, as it is an innovative technology to extend the commercial life of both fruits and vegetables. The properties of these coatings can be optimized with the addition of bioactive compounds such as *Curcuma longa* L. extracts, in order to provide the chitosan film with antioxidant and antimicrobial action, thus improving the quality and shelf life of the Vitória grape used as a test, originating from Petrolina-PE. Turmeric extracts using different solvents (ethanol ExEt, vinegar ExV and the mixture between both in the proportion 1:1 v/v ExEtV) were prepared and added to a chitosan solution at 2% m/v to obtain formulations in concentrations of 16, 28 and 37% v/v of extracts. In the extraction process, ethanol proved to be very efficient in releasing curcuminoid pigments, followed by the solvent mixture (ethanol:vinegar). The extracts and chitosan:extracts formulations were characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and molecular absorption spectroscopy in the ultraviolet-visible (UV-Vis) region. Through these spectra, it was possible to identify curcumin as the main bioactive present in the largest quantity in the turmeric under study. Zeta potential analysis showed that all formulations containing chitosan solution, except Q37ExV, presented values greater than +30mV, demonstrating the importance of chitosan in the balance and stability of the nanoparticles; also giving the formulations the viscosity necessary for coating the fruit. Regarding antimicrobial activity, the Q37ExEtV formulation showed relevant results, since in addition to promoting biocidal action against *Escherichia coli* ATCC 25922 and *Candida albicans* ATCC 76645, it showed activity with a high percentage of reduction above 93% against *Staphylococcus aureus* ATCC 13150 and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25783. The other formulations (Q37ExEt and Q37ExV) also showed positive results, conferring bactericidal and fungicidal properties. QBase did not show antioxidant activity (AA), but the chitosan formulations containing ExEt showed good results, presenting increasing values as the amount of extracts in the sample increased (Q37ExEt, 75%). Satisfactory values were also achieved for the Q37ExEtV formulations. Finally, the Vitória grapes after coating were analyzed for their physicochemical properties over 21 days. Through this study, it was possible to demonstrate that the ExEt extract, as well as the Q37ExEt formulation, promoted greater stability to the physical-chemical parameters of the fruit, as a consequence of the promising results related to the efficiency of ethanol in the curcuminoid extraction process, as proven through the antioxidant response of the formulations. This effect is also due to the formation of coatings with protective characteristics that favor the maintenance of quality, tending to extend the shelf life of the grape, which was not observed with the Q37ExEtV coating, despite the excellent results of antioxidant and antimicrobial activity.

Keywords: Rhizome. Bioactives. Coatings. Fruits.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção de uvas e variação anual (%), segundo as principais Unidades da Federação produtoras nos anos de 2022 e 2023.....	23
Figura 2: Estrutura química da quitina e da quitosana.....	30
Figura 3: Reação química de desacetilação da quitina para obtenção da quitosana.....	31
Figura 4: Potencial terapêutico da <i>Curcuma longa</i> L.....	36
Figura 5: Estruturas químicas dos pigmentos curcuminóides.....	39
Figura 6: Antioxidantes sintéticos.....	40
Figura 7: Mecanismo antioxidante dos compostos fenólicos.....	41
Figura 8: Cacho da Uva-Vitória.....	45
Figura 9: <i>Curcuma longa</i> L. em pó usada na pesquisa.....	47
Figura 10: Quitosana em flocos usada na pesquisa.....	48
Figura 11: Uva-Vitória usada na pesquisa.....	48
Figura 12: Filmes de quitosana:extrato de cúrcuma.....	61
Figura 13: Amostras de uva com e sem recobrimento.....	62
Figura 14: Amostra de uva macerada.....	63
Figura 15: Distribuição granulométrica da cúrcuma em pó.....	70
Figura 16: Espectro de FTIR para a cúrcuma desidratada em pó (CP).....	71
Figura 17: Estrutura química dos pigmentos curcuminóides da <i>Curcuma longa</i> L.....	73
Figura 18: Espectro de absorção molecular na região do UV-Vis da CP.....	74
Figura 19: Curva de TG/DTG para a cúrcuma em pó (CP).....	75
Figura 20: Curva de DSC para cúrcuma em pó (CP).....	77
Figura 21: Aspecto visual de QBase ao longo do tempo.....	78
Figura 22: Aspecto macroscópico dos extratos e de suas misturas com a solução de quitosana, sendo: A: ExEt; B: Q16ExEt; C: Q28ExEt; D: Q37ExEt; E: ExV; F: Q16ExV; G: Q28ExV; H: Q37ExV; I: ExEtV; J: Q16ExEtV; K: Q28ExEtV; L: Q37ExEtV.....	79
Figura 23: Sedimentação das formulações com extrato etanólico no período de 60 dias de análise, sendo B: Q16ExEt; C: Q28ExEt; D: Q37ExEt.....	82
Figura 24: Sedimentação das formulações com extrato etanólico:vinagre no período de 60 dias de análise, sendo J: Q16ExEtV; K: Q28ExEtV; L: Q37ExEtV.....	83
Figura 25: Espectro de FTIR de QBase.....	96
Figura 26: Espectros de FTIR de ExEt, Q16ExEt, Q28ExEt e Q37ExEt.....	98
Figura 27: Espectros de FTIR de ExV, Q16ExV, Q28ExV e Q37ExV.....	101

Figura 28: Espectros de FTIR de ExEtV, Q16ExEtV, Q28ExEtV e Q37ExEtV.....	102
Figura 29: Espectro de UV-Vis de QBase.....	103
Figura 30: Espectros de UV-Vis de ExEt, Q16ExEt, Q28ExEt e Q37ExEt.....	104
Figura 31: Espectros de UV-Vis de ExV, Q16ExV, Q28ExV e Q37ExV.....	105
Figura 32: Espectros de UV-Vis de ExEtV, Q16ExEtV, Q28ExEtV e Q37ExEtV.....	106
Figura 33: Micrografias das superfícies de fratura da quitosana pura e de suas diferentes formulações com extratos de cúrcuma.....	118
Figura 34: Aspecto visual da Uva ao longo de 21 dias, sendo: A- USR, B- UQBase, C- UExEt, D-UExV, E- UExEtV, F- UQ37ExEt, G- UQ37ExV, H- UQ37ExEtV.....	123
Figura 35: Perda de massa da USR e das uvas recobertas com os extratos ao longo dos dias.....	126
Figura 36: Perda de massa da USR, UQBase e das uvas recobertas com as misturas quitosana:extratos ao longo dos dias.....	127
Figura 37: Curvas de pH da USR e das uvas recobertas com os extratos ao longo de 21 dias.....	129
Figura 38: Curvas de pH da USR, UQBase e das uvas recobertas com as misturas quitosana:extratos ao longo de 21 dias.....	129
Figura 39: °Brix da USR e das uvas recobertas com os extratos ao longo de 21 dias.....	131
Figura 40: °Brix da USR, UQBase e das uvas recobertas com as misturas quitosana:extratos ao longo de 21 dias.....	132
Figura 41: Acidez titulável de USR e das uvas recobertas com os extratos ao longo de 21 dias.....	134
Figura 42: Acidez titulável de USR, UQBase e das uvas recobertas com as misturas quitosana:extratos ao longo de 21 dias.....	134
Figura 43: Perda de massa da USR e das uvas recobertas com os extratos ao longo de 21 dias (com barra de erro).....	158
Figura 44: Perda de massa da USR, UQBase e das uvas recobertas com a mistura quitosana:extrato ao longo de 21 dias (com barra de erro).....	158

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Métodos convencionais de conservação de alimentos.....	24
Tabela 2: Principais matérias-primas utilizadas para a formação de filmes e revestimentos comestíveis.....	28
Tabela 3: Aplicações da quitosana.....	33
Tabela 4: Composições dos extratos de cúrcuma.....	50
Tabela 5: Formulações de quitosana/extratos.....	51
Tabela 6: Composição centesimal da cúrcuma desidratada sob a forma de pó.....	65
Tabela 7: Composição centesimal do rizoma de cúrcuma desidratada, segundo a literatura.....	68
Tabela 8: Atividade de água da cúrcuma desidratada sob a forma de pó.....	69
Tabela 9: Características macroscópicas no dia da preparação (0 dia).....	81
Tabela 10: Valores de pH da solução de quitosana e dos extratos de cúrcuma.....	85
Tabela 11: Valores de pH das misturas de quitosana com extratos de cúrcuma.....	86
Tabela 12: Condutividade ($\mu\text{S/m}$) da solução de quitosana e dos extratos de cúrcuma.....	89
Tabela 13: Condutividade ($\mu\text{S/m}$) das misturas extrato de cúrcuma e quitosana.....	90
Tabela 14: Valores de diâmetro médio de partículas e índice de polidispersividade.....	93
Tabela 15: Medidas de potencial Zeta.....	95
Tabela 16: Percentual de redução de células expostas às formulações.....	107
Tabela 17: Atividade antioxidante das diferentes diluições dos extratos.....	112
Tabela 18: Atividade antioxidante das formulações com diluição de 35mg/3mL de solvente.....	113
Tabela 19: Atividade antioxidante das formulações com diluição de 50mg/3mL de solvente.....	114
Tabela 20: Nomenclatura das uvas com e sem recobrimento.....	121
Tabela 21: Porcentagem de perda de massa em função do tempo.....	127
Tabela 22: Valores de pH dos tratamentos ao longo de 21 dias.....	130
Tabela 23: °Brix dos tratamentos em função do tempo.....	132
Tabela 24: Acidez titulável dos tratamentos da Uva-Vitória em função do tempo.....	135

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABTS – 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
ATCC - *American Type Culture Collection*
ATR – Reflectância total atenuada
aw – Atividade da água
BHA – Butil-hidroxianisol
BHT – Butil-hidroxitolueno
Brix – Sólidos solúveis
CA – Atividade antioxidante
CEASA – Centrais de Abastecimento S/A
CERTBIO - Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste
CIM – Concentração Inibitória Mínima
CMC – Carboximetil celulose
CP – Cúrcuma em pó
DEER – Departamento de Engenharia das Energias Renováveis
DPPH - 2,2-difenil-1-picril-hidrazil
DSC – Calorimetria exploratória diferencial
EDL – Espalhamento dinâmico da luz
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Et – etanol
EtV – etanol:vinagre
Ex – Extrato de cúrcuma
ExEt – Extrato etanólico de cúrcuma
ExEtV – Extrato de cúrcuma em vinagre e etanol
ExV – Extrato de cúrcuma em vinagre
FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FDA – *Food Drug and Administration*
FTIR – Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier
HIV – Vírus da Imunodeficiência Humana
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e abastecimento
NR – Norma Regulamentadora
NSQ – Nanopartículas de quitosana

ONU – Organização das Nações Unidas

PA – Puro para análise

PDI – Índice de Polidispersividade

PG – Propil Galato

Q – Quitosana

Q16ExEt – Solução de quitosana com 16% de extrato etanólico de cúrcuma

Q16ExEtV – Solução de quitosana com 16% de extrato de cúrcuma em vinagre e etanol

Q16ExV – Solução de quitosana com 16% de extrato de cúrcuma em vinagre

Q28ExEt – Solução de quitosana com 28% de extrato etanólico de cúrcuma

Q28ExEtV – Solução de quitosana com 28% de extrato de cúrcuma em vinagre e etanol

Q28ExV – Solução de quitosana com 28% de extrato de cúrcuma em vinagre

Q37ExEt – Solução de quitosana com 37% de extrato etanólico de cúrcuma

Q37ExEtV – Solução de quitosana com 37% de extrato de cúrcuma em vinagre e etanol

Q37ExV – Solução de quitosana com 37% de extrato de cúrcuma em vinagre

QBase – Solução de quitosana a 2% (v/v)

QExEt – solução de quitosana com extrato etanólico de cúrcuma

QExEtV – solução de quitosana com extrato de cúrcuma em vinagre e etanol

QExV – solução de quitosana com extrato de cúrcuma em vinagre

RDC – Resolução da Diretoria Colegiada

TBARS – substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico

TBHQ – Tercbutil-hidroquinona

TG – Análise termogravimétrica

U – Uva-Vitória

UExEt – Uva recoberta com ExEt

UExEtV – Uva recoberta com ExEtV

UExV – Uva recoberta com ExV

UQ37ExEt – Uva recoberta com Q37ExEt

UQ37ExEtV – Uva recoberta com Q37ExEtV

UQ37ExV – Uva recoberta com Q37ExV

UQBase – Uva recoberta com QBase

UR – Umidade relativa

USR – Uva sem recobrimento

UV – Vis - Espectroscopia de absorção molecular na região do Ultravioleta – Visível

V – Vinagre

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1 PRODUÇÃO E DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS	22
3.2 REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS	23
3.3 QUITOSANA	29
3.4 <i>CURCUMA LONGA</i> L.....	34
3.4.1 Curcuminóides.....	38
3.4.2 Atividade Antioxidante	39
3.4.3 Atividade Antimicrobiana.....	43
3.5 UVA-VITÓRIA.....	43
4 MATERIAIS E MÉTODOS	47
4.1 MATERIAIS	47
4.2 METODOLOGIA	49
4.2.1 Preparação dos extratos à base de <i>Curcuma longa</i> L.	49
4.2.2 Preparação da solução de quitosana.....	50
4.2.3 Preparação das formulações quitosana/extratos	50
4.3 CARACTERIZAÇÃO	51
4.3.1 Composição centesimal.....	51
4.3.1.1 Umidade	51
4.3.1.2 Cinzas	52
4.3.1.3 Proteínas	52
4.3.1.4 Lipídios.....	53

4.3.1.5 Amido	54
4.3.1.6 Açúcares totais	55
4.3.2 Atividade da água (a_w)	56
4.3.3 Análise granulométrica	56
4.3.4 Calorimetria exploratória diferencial (DSC) /Análise termogravimétrica (TG)	56
4.3.5 Análise de estabilidade	56
4.3.6 Espectroscopia de absorção molecular na região do ultravioleta – visível (UV-Vis).....	57
4.3.7 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	57
4.3.8 Espalhamento dinâmico de luz (EDL) e potencial Zeta	57
4.3.9 Atividade antimicrobiana <i>in vitro</i>	58
4.3.10 Atividade antioxidante	59
4.3.11 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	60
4.3.12 Preparação das uvas e aplicação das formulações por imersão para recobrimento das uvas	61
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA CÚRCUMA EM PÓ	65
5.1.1 Composição centesimal.....	65
5.1.2 Atividade de água	68
5.1.3 Análise granulométrica	70
5.1.4 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	70
5.1.5 Espectroscopia de absorção molecular na região do Ultravioleta – Visível (UV-Vis).....	73
5.1.6 Análise térmica	75
5.1.6.1 Análise termogravimétrica (TG)	75
5.1.6.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC).....	76
5.2 ASPECTOS MACROSCÓPICOS	77

5.3 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)	84
5.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	88
5.5 ESPALHAMENTO DINÂMICO DA LUZ (EDL) E POTENCIAL ZETA	91
5.6 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)	96
5.7 ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO MOLECULAR NA REGIÃO DO ULTRAVIOLETA – VISÍVEL (UV-VIS)	103
5.8 ATIVIDADE ANTIMICROBIANA	107
5.9 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	111
5.10 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	115
5.11 RECOBRIMENTO DA UVA	121
5.11.1 Perda de massa	125
5.11.2 Potencial hidrogeniônico (pH)	127
5.11.3 Teor de sólidos solúveis (°Brix) e acidez titulável	130
5.11.4 Acidez titulável	133
6 CONCLUSÃO	136
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	138
7 REFERÊNCIAS	139
APÊNDICE 1	158

1 INTRODUÇÃO

O desperdício de alimentos vai desde a colheita até a mesa do consumidor. Cerca de 1,3 bilhão de toneladas de alimentos são desperdiçados por ano no mundo, correspondendo a um terço dos alimentos produzidos, sendo 30 % de cereais, 40 a 50 % de raízes, frutas, hortaliças e sementes oleaginosas, 20 % de carnes e produtos lácteos e 35 % de peixes (Martins *et al.*, 2024).

Vários fatores são atribuídos ao grande desperdício na cadeia produtiva das frutas; o principal é a logística de armazenamento, distribuição e comercialização dos produtos, atingindo principalmente os pequenos comerciantes, pois seus estabelecimentos não possuem condições de manutenção climática durante a comercialização o que acelera a maturação das frutas e a rejeição dos consumidores (Gorayeb *et al.*, 2019).

De acordo com a *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, com uma produção que supera os 40 milhões de toneladas por ano, perdendo apenas para China e Índia, que produzem 265 e 93 milhões de toneladas, respectivamente (Nakai, 2018).

Com o intuito de diminuir perdas em todo o mundo, é que várias técnicas são empregadas para a conservação dos alimentos. Dentre elas, estão alguns processos que modificam as condições associadas à degradação, tais como: pasteurização, desidratação, refrigeração, congelamento, uso de aditivos, fermentação, salga, conservação pelo uso de açúcar (De Melo Barros *et al.*, 2020).

Para a conservação de frutas na condição de pós-colheita, faz-se uso de refrigeração associada ou não a embalagens com atmosferas controladas. As condições mais comuns, consiste na redução da temperatura logo após a colheita. Nesse caso, tem-se uma temperatura apropriada para cada produto, em que nem sempre a manutenção e o controle da temperatura são eficientes (Assis; Britto, 2014).

Para elevar o tempo de vida de frutas e hortaliças, tem-se optado por tecnologias alternativas como o emprego de coberturas comestíveis protetoras. Esses revestimentos não objetivam a extinção do uso de embalagens convencionais, nem mesmo a eliminação do uso do frio, mas sim o de apresentar uma atuação funcional e coadjuvante, contribuindo para a preservação da textura e do valor nutricional, reduzindo as trocas gasosas superficiais e a perda ou ganho excessivo de água. Além do mais, esses revestimentos devem apresentar características como serem invisíveis, terem aderência

suficiente para não serem facilmente removidos no manuseio e não introduzirem alterações no gosto ou odores originais (Assis *et al.*, 2009).

Várias matérias-primas são utilizadas na produção de coberturas comestíveis como, por exemplo, o alginato, carragena, carboximetilcelulose, amido, pectina etc. Dentre elas, destaca-se a quitosana, por ser um polímero biodegradável, biocompatível, geralmente extraído de carapaças de crustáceos e que possui certa atividade antimicrobiana (De Araújo; Shirai, 2017).

As coberturas comestíveis podem ser otimizadas com a adição de substâncias bioativas (antimicrobianas e antioxidantes) que, quando incorporadas liberam substâncias que irão ajudar na conservação das características físico-químicas do alimento, além de melhorar as suas propriedades organolépticas, aumentando assim, o seu tempo de prateleira (Alves *et al.*, 2022). Os bioativos naturais quando adicionados aos revestimentos comestíveis, podem ser mais eficientes do que os aditivos sintéticos, pois podem migrar seletivamente e gradativamente do revestimento para a superfície dos alimentos (Santos; De Almeida Melo, 2020).

A utilização de bioativos naturais para este fim está em constante evolução na indústria alimentícia, devido às exigências dos consumidores por alimentos cada vez mais saudáveis. Um exemplo disso, é a *Curcuma longa* L. que além de muito utilizada como condimentos na preparação de alimentos, vem sendo muito investigada por pesquisadores como bioativo funcional no prolongamento da vida útil dos alimentos (Pereira; Stringheta, 1998).

A *Curcuma longa* L. é uma planta originária da Índia e do sudeste da Ásia pertencente à família Zingiberaceae, popularmente conhecida como açafrão-da-Índia, açafrão, açafoa, açafrão-da-terra, cúrcuma, gengibre-dourado (Marchi *et al.*, 2016). Dentre os compostos bioativos presentes na cúrcuma, encontram-se três pigmentos curcuminóides: curcumina, desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina, presentes no rizoma em concentrações diferentes, sendo a curcumina a principal substância ativa (60 a 76%) (Grandi, 2014). Os curcuminóides são conhecidos pelo seu potencial antioxidante, anti-inflamatório, antiparasitário, antialérgico, antimicrobiano e antimutagênico. Também possuem atividade na prevenção de câncer e no tratamento de HIV (Leitzke *et al.*, 2022).

Diante desse contexto, é de grande relevância o estudo e a avaliação do uso da *Curcuma longa* L. como composto bioativo natural associado as propriedades biológicas da quitosana, a fim de produzir um revestimento capaz de prolongar a vida útil dos

alimentos, em especial, da Uva-Vitória, objeto de investigação nessa Dissertação de Mestrado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho teve como objetivo a preparação, caracterização e aplicação de formulações à base de quitosana e extratos do pó da *Curcuma longa* L. usando diferentes solventes, como revestimentos comestíveis em uvas do tipo ‘BRS Vitória’ com o intuito de melhorar a sua qualidade, prolongando seu tempo de prateleira.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar química e fisicamente o pó de *Curcuma longa* L.;
- Preparar diferentes tipos de extratos de cúrcuma;
- Preparar as formulações de quitosana pura e quitosana contendo 16, 28 e 37% dos diferentes tipos de extratos de cúrcuma para serem empregados como revestimentos comestíveis;
- Caracterizar química, físico-química, física e morfológica todas as formulações de revestimentos comestíveis;
- Avaliar a atividade antimicrobiana dos extratos, da solução de quitosana pura e das formulações quitosana:extrato a 37% pelo método da microdiluição;
- Avaliar a atividade antioxidante dos extratos, da solução de quitosana pura e das formulações quitosana:extrato a 37% através do sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH);
- Avaliar as propriedades físico-químicas da Uva-Vitória revestidas com os extratos puros e com as formulações quitosana:extrato a 37% no período de 21 dias.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PRODUÇÃO E DESPERDÍCIO DE ALIMENTOS

As perdas de alimentos estão localizadas nas fases de produção, armazenamento, embalagem e transporte, enquanto o desperdício faz parte das etapas de varejo e consumo. No ano de 2019, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), cerca de 14% dos alimentos foram perdidos antes de chegar aos mercados varejistas em todo o mundo. Dados da ONU Meio Ambiente, apontaram que cerca de 931 milhões de toneladas, ou 17% do total de alimentos adquiridos foram para o lixo das residências, supermercados, restaurantes e outros serviços alimentares (MAPA, 2023).

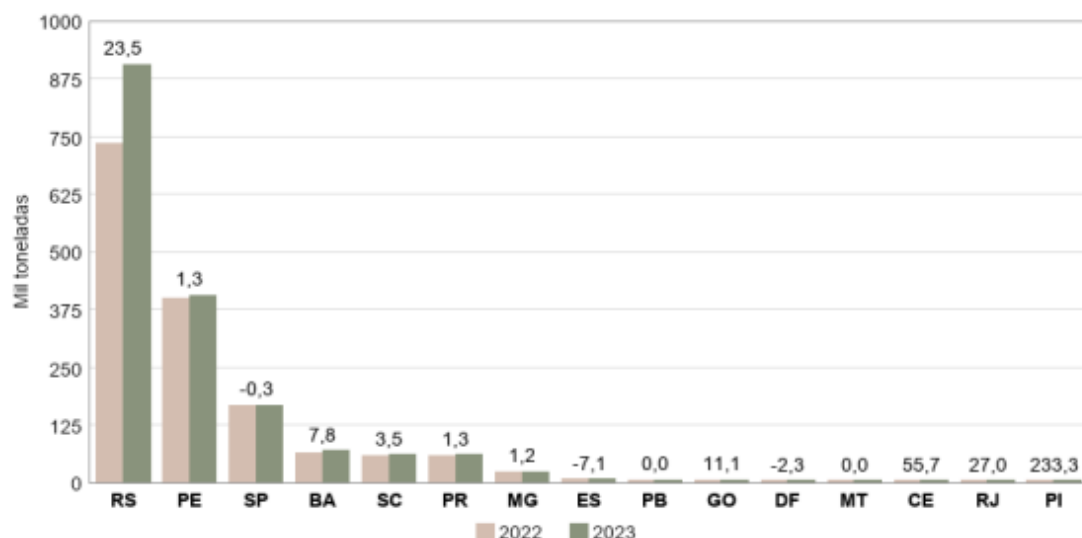
Dados divulgados em Março de 2022 pela ONU, através do Índice Global do Desperdício de Alimentos, estimou um desperdício de 121 Kg de comida *per capita* anual, levando em conta o que se descarta no varejo, no *food service* e nas residências, de acordo com o estudo de dados agregados de 54 países, incluindo o Brasil. (Ferreira *et al.*, 2022).

No Brasil, estima-se que cerca de 40% das frutas e hortaliças produzidas, sofram perdas entre a colheita e a chegada à mesa do consumidor. Estas perdas são decorrentes de injúrias mecânicas, rupturas superficiais e destruição dos tecidos vegetais, levando a modificações físicas, químicas e bioquímicas nas propriedades organolépticas, ocasionando redução no seu valor comercial. O fator mais importante na preservação da boa qualidade dos hortifrutis é a temperatura, a intensidade respiratória aumenta quando a temperatura aumenta em 10°C, acelerando sua deterioração, e diminui quando estão em armazenamento refrigerado, fazendo com que as células economizem reservas e as gastem mais lentamente (Cristofoli *et al.*, 2014).

Em 2020, segundo levantamento da FAO, o Brasil se consolidou como o terceiro maior produtor de frutas do mundo, ficando atrás somente da China e da Índia, chegando a ter cerca de 4,5% do total da produção mundial no ano, o que representa cerca de 39 milhões de toneladas (FAO, 2022). No ano de 2023, de acordo com o levantamento da produção agrícola, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção brasileira de uvas alcançou 1,7 milhão de toneladas/ano, crescimento de 12,3% em relação ao ano de 2022. Os principais produtores nacionais são o Rio Grande

do Sul, Pernambuco, São Paulo, Bahia, Paraná, e Santa Catarina (IBGE, 2023). A Figura 1, mostra a produção de uvas no Brasil nos anos de 2022 e 2023.

Figura 1: Produção de uvas e variação anual (%), segundo as principais Unidades da Federação produtoras nos anos de 2022 e 2023.



Fonte: IBGE (2023)

Afim de prolongar a vida útil dos alimentos, evitando o desperdício, é que novas técnicas de pós-colheita estão sendo estudadas e aplicadas, principalmente em hortaliças e frutas como a uva. Alguns métodos que são usados atualmente para esse fim são os revestimentos comestíveis e antioxidantes no qual os mesmos retardam o processo de amadurecimento e apresentam propriedades de barreira (De Araujo *et al.*, 2023).

3.2 REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS

A questão dos revestimentos comestíveis é um tema de grande interesse de investigação tanto do ponto de vista de poluição ambiental quanto de deterioração dos alimentos perecíveis, nesse caso as frutas. Os revestimentos são eficientes para manter a qualidade do produto e diminuir consideravelmente o uso de plásticos sintéticos.

A demanda por alimentos frescos, de boa qualidade, intactos e com boa aparência tem aumentado muito nas últimas décadas. Cada vez mais consumidores procuram produtos de origem animal e vegetal com características mais próximas das de produtos frescos (Dos Santos *et al.*, 2011). Dessa forma, a indústria alimentícia encontra como obstáculo a limitada vida útil dos alimentos, especialmente quando se trata de frutas e

hortaliças, consequência de reações de oxidação como degradação, escurecimento enzimático e ranço (De Oliveira; Oliveira, 2004).

Existem vários métodos de conservação de alimentos que vão desde a conservação pelo uso do frio, do calor, controle de oxigênio e água, uso de aditivos e a conservação pelo uso da radiação. Na Tabela 1, são especificados cada tipo de tratamento na conservação dos alimentos segundo Leonardi e Azevedo (2018).

Tabela 1: Métodos convencionais de conservação de alimentos

Método	Descrição
Uso do frio	
Refrigeração	Consiste no abaixamento da temperatura do alimento entre -1,5° C a 10°C, como forma temporária até que se aplique outro método ou até quando o alimento seja consumido. Neste método não há eliminação de microrganismos, porém inibe seu ciclo de reprodução e, consequentemente, retarda a deterioração dos alimentos
Congelamento	Consiste na diminuição do nível da temperatura para valores de -40° C a -10°C, e para que haja um perfeito congelamento, é recomendado que 80% da água livre seja transformada em gelo, havendo assim uma redução ou estabilização da atividade metabólica dos microrganismos.
Uso do calor	Tem como fundamento os efeitos destrutivos das altas temperaturas sobre os microrganismos. O calor desnatura as proteínas e inativa as enzimas necessárias

	ao metabolismo microbiano, destruindo parte ou todos os microrganismos. Podem ocorrer por: Branqueamento, Pasteurização, Esterilização, Secagem, Apertização e Tindalização.
Controle de oxigênio e água	
Desidratação	Consiste na remoção controlada da água e/ou sua interação com outros compostos, de forma que se reduza a atividade de água, reduzindo assim as taxas de alterações microbiológicas.
Liofilização	Consiste na retirada da água do alimento por sublimação, no qual o alimento congelado é colocado no liofilizador sob vácuo, em pressão de 1 mmHg, promovendo a desidratação.
Concentração por evaporação	Consiste na remoção parcial da água contida nos alimentos líquidos, convencionalmente obtidos por evaporação, na qual a remoção de água baseia-se na diferença de volatilidade entre a água e os solutos. Provoca a redução da atividade de água do produto; aumento da conveniência do produto; maior rendimento; alterações de cor e/ou sabor dos produtos; redução do peso e volume do produto e maior economia nos custos de estocagem, transporte e distribuição do produto.

Outros métodos

Uso de aditivos

Consiste na adição de produtos químicos aos alimentos sem propósito de nutrir, mas com o objetivo de mudar as características físicas, químicas, biológicas e/ou sensoriais durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação de um alimento.

Conservação pelo uso da radiação

É um método físico de conservação que prolonga a vida de prateleira dos Alimentos, preservando a qualidade sem alterar o sabor, a aparência ou o aroma dos alimentos.

Fonte: Leonardi e Azevedo (2018)

Tendo em vista os métodos convencionais para conservação dos alimentos como a refrigeração, uso de aditivos sintéticos, surge a utilização de películas e revestimentos comestíveis como uma alternativa promissora. A produção de películas comestíveis com propósitos antifúngicos, antibacterianos e com poucos efeitos colaterais, capazes de proteger e interagir com o alimento, promovendo um maior tempo de prateleira, vem sendo estudado cada vez mais a fim de substituir ou agregar aos métodos convencionais de conservação (Sartori; Menegalli, 2016).

O revestimento comestível é uma fina camada que reveste um alimento, aplicado na forma líquida, normalmente por imersão ao produto em uma solução formada por proteína (proteína de soro, caseína, colágeno, gelatina, zeína etc.), polissacarídeos (amidos, éteres de celulose, dextrina, pectina, quitosana, etc.), lipídeos (óleos, gorduras, ceras etc.) ou mistura (Maia *et al.*, 2000). Os revestimentos podem proteger os produtos alimentares de danos mecânicos e microbianos, prevenir a perda de voláteis, manter a firmeza, a aparência e inibir os processos de senescência. Os revestimentos devem possuir algumas características fundamentais como propriedades de barreira satisfatórias para

água, gases e outras substâncias de interesse; solubilidade em água e gordura; cor e aparência adequadas; propriedades mecânicas e reológicas e atóxicas com o intuito de diminuir a degradação, aumentando a vida de prateleira dos mesmos, além de atuarem como antimicrobianos e antioxidantes (Barboza *et al.*, 2022).

Os filmes de polissacarídeo, devido sua natureza hidrofílica, possuem propriedade de barreira contra umidade. Contudo, alguns filmes de polissacarídeos podem retardar a perda de umidade de alguns alimentos, quando aplicados na forma de gel, no qual a umidade do gel evapora antes da desidratação do alimento revestido. Os filmes à base de proteína dependem do tipo de cadeia (aberta ou estendida) necessária para a formação do filme, quanto maior a interação molecular da cadeia, mais forte, menos flexível e permeável será o filme. Os filmes de lipídeos, em função da sua baixa polaridade, têm como principal função bloquear o transporte de umidade (Maia *et al.*, 2000).

De acordo com Villadiego *et al.* (2005), os filmes e revestimentos comestíveis podem ser classificados em três categorias:

Hidrocoloidais - são filmes à base de polissacarídeos ou proteínas que apresentam baixa permeabilidade ao oxigênio, dióxido de carbono e lipídeos;

Lipídicos - são compostos de lipídeos, os quais por sua natureza hidrofóbica, apresentam baixa permeabilidade ao vapor de água;

Compostos - são à base de proteínas mais lipídeos ou polissacarídeos mais lipídeos que podem existir como camadas separadas, ou associados, em que ambos os componentes são adicionados ao filme.

As matérias-primas utilizadas para a produção de revestimentos comestíveis podem ter origem animal ou vegetal, ou formarem um composto com a combinação de ambas. A escolha do material depende das características do produto a ser revestido e podem ser polissacarídeos, ceras (lipídios) e proteínas (Tabela 2). Os revestimentos podem ser hidrofílicos ou hidrofóbicos (Assis; Britto, 2014).

Tabela 2: Principais matérias-primas utilizadas para a formação de filmes e revestimentos comestíveis

Matéria-prima	Principal função
Polissacarídeo	
Agar (E406)	
Alginato (E400-404)	Agente gelificante
Carragena (E407)	
Carboximetilcelulose (E466)	Espessante
Hidroxipropil celulose (E463)	Espessante e emulsificante
Hidroxipropil celulose (E464)	Espessante
Metil celulose (E461)	Espessante, emulsificante e agente gelificante
Quitosana	Agente gelificante e antimicrobiano
Goma arábica (E414)	Emulsificante
Goma de gar (E412)	Espessante
Goma xantana (E415)	Espessante
Pectina (E440)	Agente gelificante
Amido	Espessante e agente gelificante
Proteína	
Gelatina bovina	
Gelatina de peixe	Agente gelificante
Gelatina de porco	
Proteína do soro	-

Fonte: Barboza *et al.* (2022)

Os revestimentos hidrofílicos são materiais que possuem predominância de grupos amino ou hidroxila e carboxila (NH_3 , OH , COO^-) em sua estrutura. Estes grupos fornecem características que favorecem o acúmulo e o rearranjo de moléculas polares, e principalmente da água, em torno desses sítios. Os materiais hidrofílicos dependendo da estrutura química, podem formar géis, e apresentam boa solubilidade em meio aquoso, favorecendo uma melhor dispersão do soluto e uma formação mais homogênea do filme (Assis; Britto, 2014).

Os polissacarídeos e as proteínas são classificados como hidrofílicos em razão de possuírem uma boa solubilidade em meio aquoso, o que favorece uma dispersão melhor

do soluto formando uma película mais homogênea. Os materiais hidrofóbicos, são caracterizados por moléculas cujas ligações tendem a ser eletricamente neutras (grupos alquilas CH₃, CH₂-CH₃, etc e aromáticos). Na presença de água esses materiais tendem a se aglomerar e excluir as moléculas polares ao seu redor. Os lipídeos são classificados como hidrofóbicos e a incorporação em revestimentos comestíveis os tornam excelentes para aumentar sua resistência na transmissão de vapores de água devido a sua baixa polaridade, além de proporcionar um acabamento lustroso e brilhante para os alimentos (Assis; Britto, 2014).

De Melo *et al.* (2023) utilizaram quitosana e extrato de romã como revestimento comestível em queijo coalho e observaram que as coberturas biopoliméricas foram responsáveis pela diminuição do crescimento fúngico e manutenção dos parâmetros sensoriais do queijo coalho.

De Oliveira Fonseca *et al.* (2016) avaliaram a qualidade pós-colheita de goiaba ‘Pedro Sato’ submetida a três diferentes revestimentos comestíveis à base de amido de mandioca, alginato de sódio ou carboximetilcelulose para extensão de sua vida útil. Os revestimentos comestíveis à base de amido e alginato foram mais eficientes em retardar o amadurecimento das goiabas.

3.3 QUITOSANA

A quitina é o principal componente do exoesqueleto de crustáceos e insetos. É o segundo polissacarídeo mais abundante na natureza depois da celulose (Silva *et al.*, 2006). A quitosana é um polissacarídeo derivado da quitina e foi isolada pela primeira vez em 1859 por Rouget, através do aquecimento da quitina em solução concentrada de hidróxido de potássio, resultando na sua desacetilação (Freepons, 2020). Apresenta em maior proporção, na cadeia polimérica, unidades de β - (1 $\rightarrow$ 4) - 2 - amino - 2 - desóxi - D - glicose e, um menor número de unidades de β - (1 $\rightarrow$ 4) - 2 - acetamido - 2 - desóxi - D - glicose da quitina como pode ser observado na Figura 2 (Damian *et al.*, 2009).



quitina



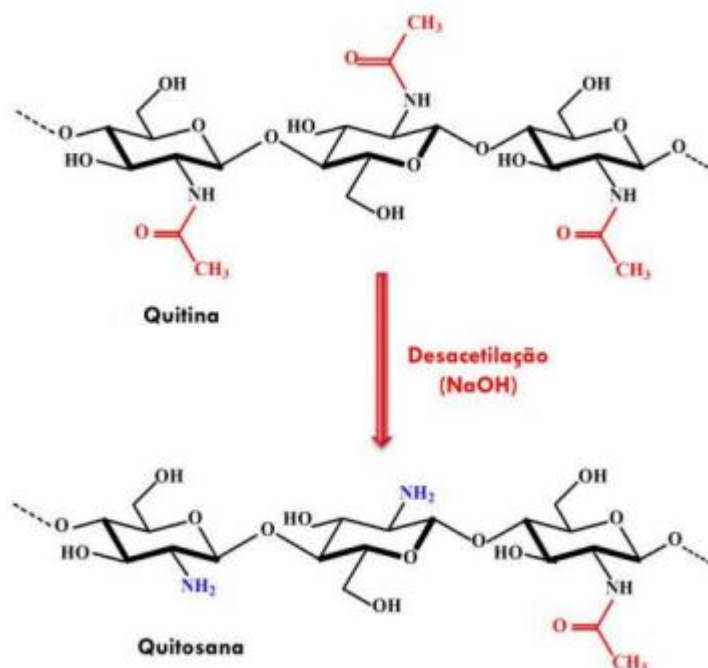
quitosana

A quitosana é um biopolímero em que a distribuição de massa molar e conteúdo de impurezas (grau de desacetilação) dependem das fontes naturais de matéria-prima e dos métodos de preparação. A massa molar média da quitina é maior do que 10^6 Daltons, enquanto a quitosana comercial tem uma massa molar média em torno de $1,0 \times 10^5 - 1,2 \times 10^6$ Daltons (Laranjeira; Fávere, 2009).

O grau de desacetilação determina o conteúdo de grupos aminos livres no polissacarídeo, distinguindo-o da quitina e influenciando sobretudo na sua solubilidade. Para a produção de quitosana, a quitina bruta é desacetilada com hidróxido de sódio (40 -50 %) na temperatura de 110 -115°C (Peter, 1995).

Durante a reação de desacetilação, os grupamentos acetamido ($-\text{NHCOCH}_3$) da quitina são transformados parcialmente em grupos amina ($-\text{NH}_2$), dando origem a quitosana (Figura 3), com uma quantidade de mais ou menos 50 a 37% de grupos aminos ($-\text{NH}_2$). É muito raro a desacetilação completa da quitina, já que precisa realizar muitas reações consecutivas, podendo degradar as cadeias poliméricas (Campana-Filho *et al.*, 2007).

Figura 3: Reação química de desacetilação da quitina para obtenção da quitosana



Fonte: Figueiredo (2014)

O grande número de grupos hidroxila e amino, presentes na cadeia polimérica, promove a característica de hidrofiliabilidade da quitosana, que pode ser facilmente dissolvida em soluções de ácidos fracos diluídos, em virtude da protonação de seus grupos amino, sendo o ácido acético o mais empregado (Laranjeira; Fávere, 2009). Após dissolução em meio ácido, os grupos amino livres da quitosana tornam-se protonados (NH_3^+), gerando um maior número de interações eletrostáticas repulsivas entre as cadeias e facilitando sua solvatação em água (Gonsalves *et al.*, 2011).

Uma das características que diferencia a quitina e quitosana dos demais polissacarídeos, é a atividade antimicrobiana. Esses polímeros provocam a inibição do crescimento de microrganismos, como *Escherichia coli*, *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Helminthosporium* spp., *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus pyogenes*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Shigella dysenteriae*, *Aeromonas hydrophila*, *Salmonella typhimurium*, *Bacillus cereus*, *Vibrio* spp., *Agrobacterium tumefaciens*, *Corynebacterium michiganense*, *Erwinia* spp., *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Xanthomonas campestris*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum*, *Drechslera sorokiniana*, *Micronectriella nivalis*,

Procularia oryzae, *Rhizoctonia solani*, *Tricophyton equinum* e *Candida* spp. (Silva *et al.*, 2006).

O mecanismo da atividade antimicrobiana da quitosana está ligada as propriedades físico-químicas do polímero e as características de membrana do microrganismo. A quitosana de alta massa molar forma películas ao redor da célula, inibindo a absorção de nutrientes por bactérias gram-positivas (Zheng; Zhu, 2003). Já a quitosana de baixa massa molar, penetra mais facilmente em bactérias gram-negativas gerando anormalidades no metabolismo dessas bactérias (Qi *et al.*, 2004).

Pelo fato de poder ser preparado de diferentes formas, é que a quitosana se torna um polímero muito versátil. Apresenta-se como soluções de viscosidade controlada, pós, géis, filmes e membranas, microesferas, nanopartículas, flocos, esponjas e fibras ocas (Campana-Filho *et al.*, 2007).

Muitas propriedades são atribuídas a quitosana como atoxicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, tornando-a um grande atrativo para uma variedade de aplicações em muitos campos, tais como alimentos e nutrição, biomedicina, biotecnologia, agricultura, veterinária e proteção ambiental (Laranjeira; Fávere, 2009). Na Tabela 3, são apresentadas algumas das principais aplicações da quitosana.

Área odontológica, estudo realizado por Baldrick (2010) utilizou quitosana para o tratamento da periodontite crônica, demonstrando que seu uso na regeneração periodôntica promove o preenchimento ósseo isoladamente ou com a combinação da matriz óssea desmineralizada.

Devlieghere *et al.* (2004) investigaram a atividade antimicrobiana da quitosana, suas interações com os componentes alimentícios e sua aplicação no recobrimento de frutas e vegetais. Verificaram um retardamento do crescimento microbiano no recobrimento de frutas e verduras.

Brant (2008) estudou a aplicação da quitosana no tratamento de água agindo como um agente floculante e coagulante na remoção de metais pesados.

Tabela 3: Aplicações da quitosana

Área	Aplicação
Agricultura e indústria alimentícia	Recobrimento de sementes e frutas, estimulante no crescimento de plantas; Remoção de pigmentos, sólidos e substâncias ácidas de sucos de laranja, maçã e cenoura.
Tratamento de água	Remoção de íons metálicos (Cu^{2+} , Pb^{2+} , U^{+}) de efluentes industriais; Agente floculante na redução de odores.
Polpa e papel	Tratamento da superfície da polpa, aumentando sua resistência sem afetar o brilho; Melhorar as propriedades antiestáticas e resistência a abrasão do papel fotográfico.
Medicina e biotecnologia	Lentes de contato, curativos, tratamento de acne, pele artificial e em pomadas contra queimaduras e dispositivos de liberação controlada de drogas.
Cosmética	Creme dental, hidrogéis, cremes hidratantes para o corpo, rosto e cabelos.

Fonte: Delezuk (2013)

Schaefer *et al.* (2020) desenvolveram filmes a base de quitosana e amido de milho incorporados com açafrão. Independente da incorporação da cúrcuma, os filmes contendo os dois biopolímeros apresentaram maior aderência à mucosa suína. Nos testes de migração observaram que os maiores valores de absorbância ocorreram para os filmes contendo o agente bioativo. Todas as formulações contendo quitosana apresentaram halo de inibição para o microrganismo *Staphylococcus aureus*.

Santos *et al.* (2021) prepararam nanopartículas de quitosana e incorporaram o polímero carboximetilcelulose juntamente com extrato seco de cúrcuma, com o intuito de reforçar e potencializar as propriedades naturais desse polímero, para a preparação de biofilmes comestíveis. Os ensaios mecânicos mostraram um aumento na elongação, confirmando que tanto as nanopartículas de quitosana (NSQ) quanto a *Curcuma longa* L. favorecem a elasticidade do filme e sua rigidez. Os filmes apresentaram boas propriedades de barreira, sendo o melhor, o filme completo contendo CMC, NSQ e *Curcuma longa* L., isso foi possível observar pela análise de permeabilidade ao vapor de água.

Ezati *et al.* (2022) estudaram o efeito do extrato aquoso de açafrão nas propriedades funcionais de filmes comestíveis a base de quitosana (Chi) e pululana (Pul) para aplicações em embalagens ativas. Os resultados obtidos mostraram que as propriedades de barreira ao vapor de água e ao oxigênio do filme Chi/Pul foram melhoradas em 22 e 52%, respectivamente, comparados aos filmes de quitosana e pululana individualmente. A adição de açafrão não afetou o desempenho físico do filme, mas apresentou funcionalidade antioxidante muito forte, indicando 90 e 70% de atividade antioxidante contra os métodos de sequestro de radicais livres 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS) e 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH), respectivamente. O filme compósito mostrou um efeito antibacteriano ligeiramente melhorado contra a *Escherichia coli* e a *Listeria monocytogenes*, comparado aos filmes puros de quitosana e pululana, que apresentaram menor inibição em 12 horas de incubação.

3.4 CURCUMA LONGA L.

A Cúrcuma (*Curcuma longa* L.), popularmente conhecida como açafrão-da-terra, é uma planta medicinal originária do sul da Índia e muito cultivada na China, Kuwait, Índia, Indonésia e Sri Lanka. No Brasil a produção da cúrcuma ocorre em quase todas as regiões, sendo São Paulo, Minas Gerais e Goiás os maiores produtores. Essa herbácea apresenta um longo ciclo de vida e pode ser cultivada em ambientes domésticos ou em ambientes selvagens. Tem como características principais folhas verdes com odor, forma oval elipsoide, sabor e cor amarelada ou dourada bem característicos e, assemelha-se ao gengibre (Cecilio Filho *et al.*, 2019).

Historicamente, a *Curcuma longa* L. é conhecida mundialmente por suas aplicações terapêuticas e dietéticas em atividades medicinais, culinárias (tempero, corante

alimentar natural e conservante), cosméticas e dermatológicas (Collino, 2014). Seu ciclo vegetativo varia de sete a nove meses. A planta pode atingir até 1 m de altura e a colheita é feita quando as folhas ficam amareladas. Os rizomas são retirados da terra, lavados e secos para serem processados (Govindarajan; Stahl, 1980).

Fatores como o tipo de solo, adubação, disponibilidade de água, época de colheita, tempo de armazenamento, dentre outros, podem influenciar a composição química dos rizomas de cúrcuma (Oliveira *et al.*, 1992). O componente presente em maior concentração na cúrcuma é o amido (25 a 50%), seguido de proteína (4 a 10%), fibras e cinzas (2 a 7%), além de pigmentos curcuminóides e os óleos essenciais. São três pigmentos presentes na cúrcuma, a curcumina (4 a 6 mg/100 g), desmetoxicurcumina (4 a 3 mg/100 g) e a bisdesmetoxicurcumina (3 a 2 mg/100 g). No rizoma, estes pigmentos podem variar de 4 a 8 mg/100g de rizoma (Martins; Rusig, 1992). Dependendo dos fatores associados ao cultivo da planta, a cúrcuma pode apresentar cor que pode variar de amarelo-brilhante ao laranja-escuro (Viasan *et al.*, 1989).

A cúrcuma possui, atualmente, três produtos comerciais: o pó, a oleoresina e o extrato de cúrcuma. O pó consiste em rizomas secos e moídos, a oleoresina é obtida por extração com solventes a partir do pó, com rendimento de aproximadamente 12%, apresentando teores de 30 a 40% de pigmentos expressos em curcumina e entre 15 e 25% de óleo volátil. O extrato é obtido por meio de solventes e pó, o rendimento depende do solvente utilizado (Santos; Oliveira, 1991).

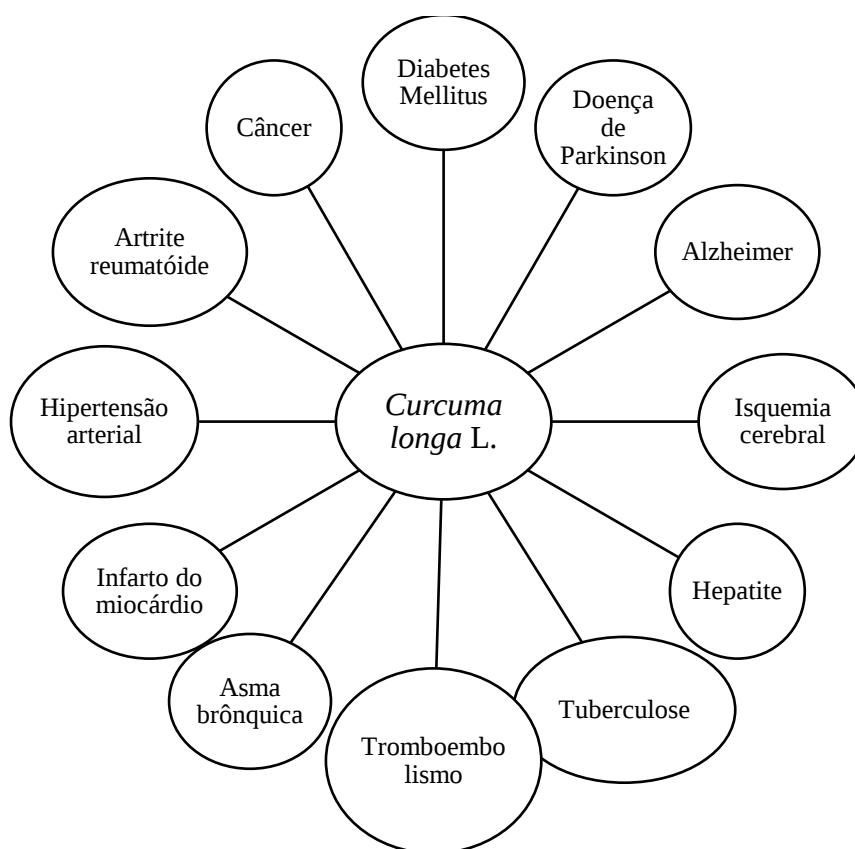
A extração dos curcuminóides da cúrcuma pode ser feita por metanol, etanol, acetonitrila, dimetil sulfóxido, acetona e outros solventes polares, já que estes pigmentos são insolúveis em água e éter, além desses sua dissolução também pode ser em alguns solventes hidrocarbonetos, como hexano e ciclohexano (Rodríguez *et al.*, 2014). Algumas técnicas são empregadas para que se obtenha o melhor rendimento na extração dos pigmentos curcuminóides. As técnicas também podem ser combinadas para otimizar as condições de processo e preservar a integridade dos compostos. Técnicas como Soxhlet assistido por ultrassom (Vichakshana *et al.*, 2023), extração por solventes químicos (Dutta, 2015), extração assistida por micro-ondas em amostra irradiada seca ou úmida (Wakte *et al.*, 2011), cristalização e resfriamento (Horosanskaia *et al.*, 2020), cromatografia em coluna (Yang *et al.*, 2015), dentre tantas outras, são empregadas para a extração e purificação dos curcuminóides.

A cúrcuma possui várias propriedades, dentre elas destacam-se as capacidades anticoagulante, antifúngica, anti-inflamatória, antimalárica, antioxidante, antiviral,

cicatrizante, esquistossomicida, hipolipemiante, leishmanicida, nematocida, tripanocida neuroprotetora e imunomoduladora (Ferreira *et al.*, 2019).

Na saúde, a importância da *Curcuma longa* L. mudou consideravelmente desde a descoberta de sua propriedade antioxidante, através da presença de compostos fenólicos, como os curcuminóides, que inibem a produção de espécies reativas de oxigênio, protegendo nosso organismo dos danos causados por estresse oxidativo (Marmitt *et al.*, 2016). A Figura 4, apresenta os potenciais terapêuticos da cúrcuma na área da saúde.

Figura 4: Potencial terapêutico da *Curcuma longa* L.



Fonte: Adaptado de Marmitt *et al.* (2016).

Kalaycioğlu *et al.* (2017) avaliaram os efeitos da incorporação do extrato de cúrcuma nas propriedades antibacterianas e físicas dos filmes de quitosana. Os resultados mostraram que a adição de açafrão ao filme de quitosana aumentou significativamente a resistência à tração do filme e melhorou a barreira à luz ultravioleta-visível do filme. A atividade antimicrobiana dos filmes de quitosana foi estudada contra *Salmonella* e *Staphylococcus aureus* pela técnica de contagem em placas de ágar e uma melhor atividade antimicrobiana foi observada com a incorporação de cúrcuma.

Sedyadi *et al.* (2019) pesquisaram sobre o uso do extrato de gengibre e do extrato de cúrcuma para a elaboração de filmes comestíveis de revestimento de tomates, com intuito de aumentar a vida de prateleira, testando textura e perda de peso. As medidas foram feitas pelo encolhimento do tomate em 50% para a amostra de controle e as amostras com revestimentos dos extratos, e a redução da textura do tomate em 63%. Os resultados mostram que o encolhimento do peso dos tomates controle em 50% ocorreram dentro de 45 dias. Os tomates revestidos com o extrato de gengibre encolheram 50% do peso em 65 dias, enquanto o filme com adição de extrato de açafrão teve seu peso reduzido a 50% em 60 dias. A redução da textura dos tomates controle em 63%, ocorreram em 7 dias a 7,5 dias, enquanto com película comestível com adição de extrato de gengibre para 12 dias e com extrato de açafrão para 186 dias.

Alves *et al.* (2019a) com o intuito de retardar a ação bacteriana em queijos do tipo ricota para a manutenção da qualidade do alimento, elaboraram revestimento à base de carragena e extrato etanólico de cúrcuma. As ricotas foram avaliadas quanto a coliformes totais, aeróbios mesófilos, *Staphylococcus* spp., pH, acidez, atividade de água e matéria seca nos dias 0, 3 e 6 de armazenamento. A utilização da mistura carragena-extrato, afetou a matéria seca, pois houve maior retenção de umidade nos produtos revestidos. O extrato etanólico apresentou efeito antimicrobiano contra a cepa *Escherichia coli* na metodologia de poços, porém em todos os tratamentos (T1- sem revestimento, T2- revestimento de carragena + 2% de extrato de açafrão, T3- revestimento de carragena + 4% de extrato de açafrão) e tempos de armazenamento, o revestimento não foi efetivo para inibir coliformes no produto. Houve redução na contagem de *Staphylococcus* spp. com a utilização do revestimento de carragena + 4% de extrato de açafrão.

Rodríguez *et al.* (2021) avaliaram o efeito da adição de extrato hidroalcólico (HET) de cúrcuma (*Curcuma longa* L.) e a concentração de polímero nas propriedades físico-químicas de filmes de quitosana a 1,5 e 2% (m/v), bem como na extensão da vida útil de abacaxi minimamente processado (MPP) da variedade Golden Sweet (MD-2) armazenado a 5 ± 1 °C. Os frutos foram descascados e cortados em quartos de fatias de 1 cm de espessura e depois divididos aleatoriamente de acordo com os revestimentos a serem aplicados: PQ, revestimento de quitosana 1,5% (m/v); PQC, revestimento de quitosana a 1,5% (m/v) com HET a 0,4% (m/v); e PC, tratamento controle. As concentrações de quitosana e HET não afetaram a permeabilidade ao vapor d'água, a solubilidade em água e a opacidade aparente dos filmes. A resistência à tração aumentou com a concentração de quitosana e HET, enquanto o alongamento na ruptura diminuiu

com o aumento da concentração de polímero. A vida útil do MPP aumentou 33,33% com a aplicação de quitosana e revestimento HET devido à maior qualidade sensorial e à ausência de deterioração fúngica visível após 12 dias de armazenamento em comparação com 8 e 10 dias para produtos não revestidos e revestidos com quitosana, respectivamente.

Yang *et al.* (2022), estudaram a obtenção e avaliação de revestimentos de quitosana com extrato de cúrcuma e chá verde para a conservação de morangos no pós-colheita. Foi observado que ambos os extratos continham alto teor de compostos fenólicos, mas apenas o extrato de cúrcuma apresentou atividade antifúngica.

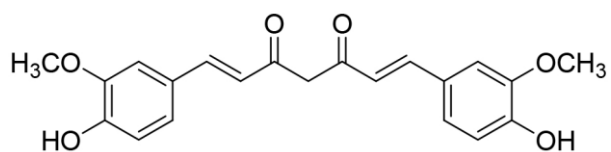
3.4.1 Curcuminóides

Os curcuminóides possuem estruturas caracterizadas pela presença de dois grupos arila separados por sete átomos de carbono. Dentre os vários exemplos de compostos naturais e sintéticos que possuem essas características, destacam-se os pigmentos curcuminóides da cúrcuma (Figura 5) (Araujo *et al.*, 1999).

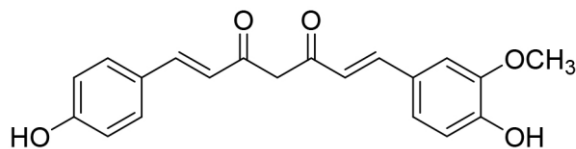
A curcumina ($C_{21}H_{20}O_6$), desmetoxicurcumina ($C_{20}H_{18}O_6$) e bisdesmetoxicurcumina ($C_{19}H_{16}O_4$) são os pigmentos presentes na *Curcuma longa* L., eles apresentam massa molar (MM) e ponto de fusão (PF) de: MM = 368 g/mol, PF = 183 °C; MM = 330 g/mol, PF = 168 °C e MM = 308 g/mol, PF = 224 °C, respectivamente. Já em relação a absorções, possui seus máximos nos comprimentos de onda de 429, 424 e 419 nm, respectivamente, e apresentam fluorescência amarela sob luz ultravioleta (Govindarajan; Stahl, 1980; Péret-Almeida *et al.*, 2005).

Estes três pigmentos são análogos estruturalmente, diferenciando-se apenas pela quantidade de grupos metoxila (OCH_3) na estrutura química. A curcumina possui dois grupos metoxila, a desmetoxicurcumina somente um e a bisdesmetoxicurcumina nenhum (Govindarajan; Stahl, 1980). Estes pigmentos são estáveis em pH ácido e sofrem decomposição em pH acima do neutro, são sensíveis a luz, porém altamente estáveis ao calor (Sogi *et al.*, 2010).

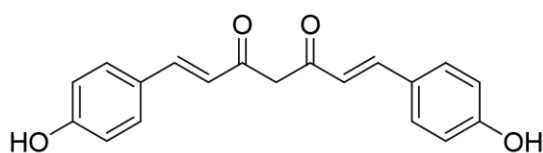
Figura 5: Estruturas químicas dos pigmentos curcuminóides



Curcumina (Curcumina I)



Desmetoxicurcumina (Curcumina II)



Bis-desmetoxicurcumina (Curcumina III)

Fonte: Leitzke *et al.* (2022)

Dentre os pigmentos curcuminóides, a curcumina é o principal composto bioativo e o pigmento mais abundante encontrado nos rizomas. Lampe *et al.* (1910) identificaram a estrutura química da curcumina em 1910 como [1,7-bis-(hidroxi-3-metoxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona] ou diferuloilmetano. Em 1913, os mesmos pesquisadores conseguiram sintetizar o composto.

3.4.2 Atividade Antioxidante

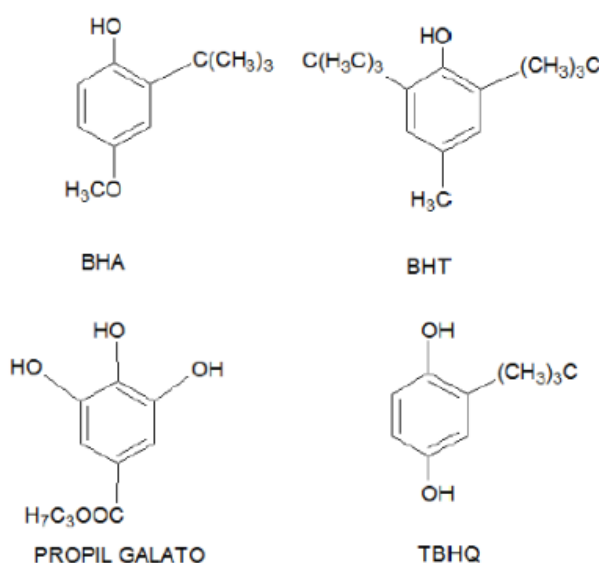
Os antioxidantes têm papel fundamental no controle de radicais livres e de processos oxidativos. Os radicais livres são átomos ou moléculas produzidos continuamente durante os processos metabólicos e atuam como mediadores para a transferência de elétrons em várias reações bioquímicas, desempenhando funções relevantes ao metabolismo (Bae *et al.*, 1999).

As substâncias antioxidantes, segundo o *Food Drug and Administration* (FDA), são substâncias utilizadas para preservar os alimentos através do retardamento da deterioração, descoloração e rancidez (Monteiro, 2013). Já de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), são aquelas que retardam o aparecimento de alteração oxidativa do alimento (BRASIL, 1997).

Segundo o mecanismo de ação, os antioxidantes podem ser classificados como primários ou secundários. Os antioxidantes primários agem interrompendo a cadeia da reação através da doação de elétrons ou hidrogênio aos radicais livres. Já os antioxidantes secundários atuam na complexação com metais, sequestro de oxigênio, decomposição de hidroperóxidos para formar espécie não radical, absorção da radiação ultravioleta ou desativação de oxigênio (Del Ré; Jorge, 2012).

Os antioxidantes sintéticos mais usados na indústria de alimentos (Figura 6) são os Butil-hidroxianisol (BHA), Butil-hidroxitolueno (BHT), Tercbutil-hidroquinona (TBHQ) e Propil Galato (PG). São voláteis e facilmente decompostos em altas temperaturas. São compostos de estrutura fenólica que ao doar um próton a um radical livre regenera a molécula de acilglicerol e interrompe o mecanismo de oxidação, e seus derivados fenólicos são transformados em radicais livres que se estabilizam sem promover reações de oxidação (Buck, 1981).

Figura 6: Antioxidantes sintéticos



Fonte: Ramalho e Jorge (2006)

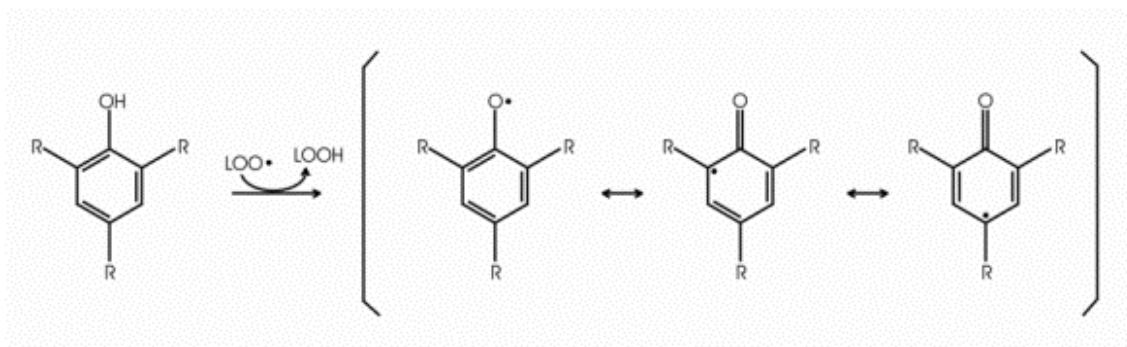
Os antioxidantes naturais apresentam-se como alternativa para prevenir a deterioração oxidativa dos alimentos, são fontes de compostos fenólicos que podem ser extraídos de vegetais e plantas. Estas substâncias fenólicas exibem amplo espectro de propriedades biológicas como antialérgica, antiarteriogênica, anti-inflamatória, antimicrobiana, antitrombótica, cardioprotetiva e vasodilatadora, mas o principal efeito tem sido atribuído à sua ação antioxidante em alimentos (Andreo; Jorge, 2006).

Os tocoferóis, os ácidos fenólicos e extratos de plantas, são os antioxidantes naturais mais utilizados. O tocoferol, é aplicado como meio para inibir a oxidação dos óleos e gorduras comestíveis, prevenindo a oxidação dos ácidos graxos insaturados. Os ácidos fenólicos apresentam um anel benzênico, um grupamento carboxílico e um ou mais grupamentos de hidroxila e/ou metoxila na molécula, que conferem propriedades antioxidantes. Os antioxidantes fenólicos, normalmente presentes em extratos de plantas, funcionam como sequestradores de radicais e, algumas vezes, como quelantes de metais, agindo tanto na etapa de iniciação como na propagação do processo oxidativo (Augusto, 2012).

Por ser rica em compostos fenólicos (substâncias que possuem um anel aromático com uma ou mais hidroxilas, podendo também apresentar outros grupos substituintes em sua estrutura, como ésteres, metil-ésteres e glicosídios), a cúrcuma tem um grande potencial antioxidante e antimicrobiano e exerce várias bioatividades, incluindo, entre outras, antifúngicos, antipiréticos, anti-hipercolesterolêmicos, afrodisíacos e inseticidas (Yang *et al.*, 2020). Os compostos fenólicos atuam combatendo os radicais livres, quelando metais de transição, interrompendo a reação de propagação dos radicais livres na oxidação lipídica, modificando o potencial redox do meio, reparando a lesão das moléculas atacadas por radicais livres, modificam as rotas metabólicas das prostaglandinas, protegem a aglomeração plaquetária e inibem a ativação de carcinógenos (Del Ré; Jorge, 2012).

A Figura 7, apresenta o mecanismo antioxidante dos compostos fenólicos. Os produtos intermediários, formados pela ação destes antioxidantes, são relativamente estáveis devido à ressonância do anel aromático apresentada por estas substâncias (Baggio, 2006).

Figura 7: Mecanismo antioxidante dos compostos fenólicos



Fonte: Baggio (2006)

A presença dos pigmentos curcuminóides na *Curcuma longa* L., podem apresentar atividade antioxidante maior ou igual a alguns compostos. Chatterjee *et al.* (1999) verificaram que a curcumina isolada apresentou atividade antioxidante equivalente ao BHA e BHT, e atividade antioxidante maior em relação ao α -tocoferol. A Bisdesmetoxicurcumina isolada, apresentou atividade antioxidante maior que o α -tocoferol, porém, menor que o BHA, BHT e a curcumina.

Nanditha *et al.* (2009) desenvolveram biscoitos com adição de extrato de cúrcuma, substituindo os antioxidantes BHA e TBHQ, e verificaram um potencial substituinte na preparação do produto.

De Paula *et al.* (2018) avaliaram a farinha obtida do resíduo da extração do corante de cúrcuma, como revestimento protetor para prolongar a vida útil da banana (*Musa acuminata*). Investigaram como o revestimento afeta a perda de massa, firmeza, pH, acidez titulável, teores de sólidos solúveis e açúcares redutores e cor da casca da banana ao longo de 15 dias de armazenamento a 27 ± 2 °C e 65% UR. Os revestimentos apresentaram boa atividade antioxidante, o que é atribuído à presença de curcuminóides. Os revestimentos retardaram a perda de peso, o desenvolvimento da cor e a redução da firmeza, permitiram menor acidez e teor de açúcares nas bananas revestidas em comparação com as bananas controle. Concluíram que, os revestimentos à base de farinha de açafrão estenderam as características originais das bananas armazenadas a 27 °C em 3 dias.

Bojorges *et al.* (2020) desenvolveram um filme comestível à base de alginato e cúrcuma, como composto ativo, e avaliaram a atividade antioxidante para aplicação em lombo suíno fresco, lombo bovino e peito de frango. O extrato de cúrcuma foi capaz de proteger a carne da deterioração lipídica e da perda de cor e apresentaram valores de TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico) mais baixos em comparação com aquelas sem o extrato. A adição de cúrcuma no filme, além de afetar suas propriedades físico-químicas e estruturais, contribuiu com um importante efeito antioxidante para a carne.

Lira *et al.* (2021) analisaram a atividade antioxidante do rizoma e do pó da cúrcuma, e verificaram que o extrato da cúrcuma em pó mostrou maior rendimento, maior atividade antioxidante e maior teor de compostos fenólicos totais.

3.4.3 Atividade Antimicrobiana

Devido a quantidade de compostos fenólicos presentes no extrato e no óleo, é que se tem estudado a atividade antimicrobiana da cúrcuma. A atividade antimicrobiana tem relação com a diversidade de metabólitos secundários presentes na planta, como taninos, terpenóides, fenóis, dentre outros, e estes compostos podem atuar rompendo as membranas microbianas (Aly; Gumgumjee, 2011).

Franco *et al.* (2007), avaliaram a atividade antibacteriana do óleo essencial de *Curcuma longa* L., e verificaram que o óleo apresentou atividade antimicrobiana sobre *Staphylococcus aureus* em um halo de inibição de 12 mm. Observaram também que o óleo não produziu atividade inibitória para a *Escherichia coli* e para a *Salmonella choleraesuis*.

Kim *et al.* (2003), verificaram em seus estudos que extratos de cúrcuma apresentaram atividade antifúngica *in vitro* para algumas cepas de *Trichophyton* sp. e para *Botrytis* sp., *Erysiphe* sp., *Phytophthora* sp., *Puccinia* sp., *Pyricularia* sp. e *Rhizoctonia* sp..

Dansai e Krusong (2011a) determinaram a eficácia do extrato etanólico de cúrcuma, vinagre e sua mistura na redução de *Salmonella Typhimurium*. Os resultados mostraram que, a *Salmonella Typhimurium* em contato com o extrato de cúrcuma 0,05 mg/mL foi completamente inibido em 15 min. Ao usar vinagre contendo 1,7% (v/v), foi completamente inibido em 25 min. O efeito combinado da mistura de extrato de cúrcuma (0,05 mg/mL) em vinagre (1,7% v/v) mostrou inibição total do microrganismo em 10 min.

Alves *et al.* (2019b) avaliaram a qualidade de ricotas com revestimento de carragena e extrato etanólico de cúrcuma. Os resultados mostram que, utilizando a técnica de difusão por poços, observaram atividade inibitória do extrato de cúrcuma sobre *Escherichia coli*, redução do *Staphylococcus* spp. em ricotas revestidas com carragena e extrato de açafrão a 4%, porém para todos os tratamentos e tempos de armazenamento utilizados no trabalho, o revestimento não foi efetivo para inibir a proliferação de coliformes no produto.

3.5 UVA-VITÓRIA

A produção brasileira de uvas se caracteriza pela oferta em épocas de baixa disponibilidade nos países importadores do hemisfério norte. Esses mercados são bastantes exigentes, adquirindo apenas frutos limpos, intactos, com tamanho, cor e forma

compatíveis com o especificado pelo consumidor. Os frutos que não atendem estes requisitos são destinados ao mercado interno, porém, a perda é elevada, de maneira a causar prejuízos econômicos, especialmente quando ocorre precipitação pluvial superior à média esperada durante a maturação ou próximo à colheita de cultivares de uvas sem sementes, que são mais suscetíveis a podridões e rachaduras (Ribeiro *et al.*, 2014).

A ‘BRS Vitória’ (Figura 8) é uma uva de mesa desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), sem sementes, preta, de sabor aframboesado e agradável, para consumo *in natura*. É vigorosa e fértil, tem cachos com peso médio de 290 g. As bagas possuem tamanhos médios de 17 mm x 19 mm, pode alcançar produtividade entre 25 e 30 t/ha, com teor de açúcar entre 19 e 23 °Brix, possui tolerância às chuvas durante a maturação, o que permite sua produção no primeiro semestre (Maia *et al.*, 2015).

A Uva-Vitória, é a primeira uva sem sementes produzida no Brasil, que é tolerante ao míldio, causado por *Plasmopara viticola* o que possibilita reduções da aplicação de fungicidas para controle da doença, porém, a BRS Vitória é bastante sensível à podridão-da-uva-madura, causada por *Glomerella cingulata*, que provoca perdas tanto na qualidade como na quantidade da uva produzida em regiões com verão quente e chuvoso (Maia *et al.*, 2015).

Figura 8: Cacho da Uva-Vitória



Fonte: Maia *et al.* (2012)

A ‘BRS Vitória’ é resultante do cruzamento CNPUV 681-29 [Arkansas 1976 x CNPUV 147-3 (‘Niágara Branca’ x ‘Vênus’)] x ‘BRS Linda’, realizado em 2004, na Embrapa Uva e Vinho, Estação Experimental de Viticultura Tropical (EVT), em Jales, SP (Maia *et al.*, 2012).

O ciclo produtivo da BRS Vitória varia de 90 a 135 dias, dependendo da soma térmica da região. O ciclo mais longo foi observado no Norte do Paraná e no Centro de São Paulo, enquanto o mais curto ocorreu em Curaçá, Bahia, no Vale do Rio São Francisco (Maia *et al.*, 2014).

No ano de 2019 a região Nordeste do Brasil possuía 10.485 ha ocupados com cultivo de uvas, essa área produtiva correspondia a 13,85% da área vitícola do país. A produção de uvas na região Nordeste localiza-se no Vale do São Francisco que compreende os estados de Pernambuco (nas cidades de Lagoa Grande, Orocó, Petrolina e Santa Maria da Boa Vista) e Bahia (nas cidades de Casa Nova, Curaçá, Juazeiro e Sobradinho), em conjunto, estes estados podem produzir até 2,5 safras anuais numa mesma área. No âmbito nacional, a produção de uvas no Vale do São Francisco correspondeu a aproximadamente 25% da produção em todo o país neste mesmo ano (De Mello; Machado, 2020).

No ano de 2020, a área cultivada no estado de Pernambuco foi de 8.299 ha, um leve aumento (0,52%) em relação à safra de 2019 e na Bahia, com 1.969 ha, o que representou uma redução de 4,83%. Já a produção de uva no estado do Pernambuco foi de 338.837 t e na Bahia a produção foi de 45.342 t no ano de 2020 (IBGE, 2020). Dados do IBGE apontaram que a produção de uva na cidade de Petrolina-PE foi de 236.500 t no ano de 2022, com área destinada a colheita de 6.450 ha, classificando esta cidade como a maior produtora de uva neste ano, seguida das cidades de Lagoa Grande (72.850 t), São Vicente Férrer (16.200 t) e Santa Maria da Boa Vista (11.760 t), no estado do Pernambuco (IBGE, 2022).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

A *Curcuma longa* L. desidratada sob a forma de pó (CP), de coloração laranja-avermelhado (Figura 9), foi doada por agricultores da cidade de João Pessoa – PB. Essa coloração caracteriza a presença do pigmento curcumina (De Abreu Matos, 2007). Possui cheiro forte agradável e sabor aromático e picante.

Figura 9: *Curcuma longa* L. em pó usada na pesquisa.



Quitosana (Q), grau médico sob a forma de flocos, coloração creme (Figura 10), foi doada pelo Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste (CERTBIO) da UFCG. Segundo dados técnicos do laboratório, a quitosana empregada nesse estudo foi classificada como sendo de alta massa molar com valor de 962,17 Kg/mol e viscosidade de 2679,7 g/mol, apresentando grau de desacetilação de 87% conforme obtido por espectroscopia no infravermelho através da metodologia proposta por Brugnerotto *et al.* (2001) e Czechowska-Biskup *et al.* (2012).

Figura 10: Quitosana em flocos usada na pesquisa.



Uvas-Vitória (U) sem sementes foi adquirida com produtores rurais da cidade de Petrolina no estado de Pernambuco no mês de setembro de 2023. Constituída de um lote homogêneo, sem injúrias ou qualquer alteração (Figura 11). A baga era esférica, de cor preta-azulada, com película grossa e resistente, polpa incolor, ligeiramente firme e de sabor aframboezado (Maia *et al.*, 2012).

Figura 11: Uva-Vitória usada na pesquisa



As cepas *Escherichia coli* ATCC 25922; *Staphylococcus aureus* ATCC 13150; *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25783 e *Candida albicans* ATCC 76645 foram cedidas em parceria pelo Prof. Ulrich Vasconcelos do Departamento de Biotecnologia da UFPB.

O ácido acético glacial P.A. (CH_3COOH) da marca Nuclear, apresenta massa molar de 60,05 g/mol.

O álcool etílico absoluto 99,5% GL ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) da marca Sciavico, possui massa molar de 46,08 g/mol.

O vinagre de álcool da marca Figueira apresenta 4% de acidez volátil. É um líquido com coloração transparente e amarelada, adquirida no comércio local da cidade de João Pessoa – PB.

A fenolftaleína P.A. ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$) da marca Química Moderna possui massa molar de 318,31 g/mol.

O hidróxido de sódio P.A. (NaOH) da marca Sciavico, possui massa molar de 40 g/mol.

O 2,2-difenil -1-picril-hidrazila (DPPH) ($\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{N}_5\text{O}_6$) fornecido pela Sigma-Aldrich possui massa molar de 394 g/mol.

Todos os reagentes foram usados sem nenhum tratamento prévio.

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Preparação dos extratos à base de *Curcuma longa* L.

Nesse estudo, foram preparados três diferentes extratos de cúrcuma (Ex) na proporção de 1:10 (m/v) (cúrcuma em pó:solvente), usando como solventes o etanol (Et), vinagre (V) e a mistura entre ambos (etanol:vinagre) (EtV) na proporção 1:1 (v/v), seguindo a metodologia reportada por Bitencourt (2013) com algumas adaptações.

Cerca de 3g de cúrcuma em pó foram adicionados em 30 mL de solvente para realizar o processo de extração. Em seguida, o sistema foi submetido a agitação magnética a 792 rpm (Agitador Fisatom modelo 752A) à temperatura ambiente por 1 h e com o uso de papel alumínio, para evitar o contato com a luz. Passado esse tempo, a suspensão foi mantida em repouso por 24 h (para decantação do pó de cúrcuma) para então, ser submetida ao processo de filtração, usando primeiramente, o papel de filtro quantitativo de filtragem rápida (Nalgon, 3551, 7,5 μm), seguida de centrifugação (SPLabor, modelo SP-700/6000) a 2800 rpm por 5 min. A composição dos extratos de cúrcuma está exibida na Tabela 4.

Tabela 4: Composições dos extratos de cúrcuma.

Código	m_{Cúrcuma} em pó	V_{Etanol}	V_{Vinagre}
	(mg)	(mL)	(mL)
ExEt	3	30	-----
ExV	3	-----	30
ExEtV	3	15	15

Após o processo de filtração, todas as composições de extratos foram armazenadas a temperatura ambiente em tubos de vidro com tampa e recobertos com papel alumínio para evitar o contato direto com a luz.

4.2.2 Preparação da solução de quitosana

0,2 g de quitosana foram adicionados em 10 mL de solução aquosa de ácido acético a 1% (v/v) sob agitação magnética (Fisatom modelo 752A) a 792 rpm por 1 h a $40\pm 5^{\circ}\text{C}$. Após o preparo, a solução polimérica foi armazenada a temperatura ambiente em tubos de vidro com tampa e codificada como QBase.

4.2.3 Preparação das formulações quitosana/extratos

Seguindo a metodologia já apresentada anteriormente, após a preparação tanto da solução de quitosana a 2% (m/v) quanto dos extratos de cúrcuma usando os três tipos de solventes, foi realizada a mistura da solução QBase contendo diferentes concentrações de extratos, cuja descrição detalhada está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Formulações de quitosana/extratos.

Código	V _{QBase} (mL)	V _{Extrato} (mL)	Tipo de Extrato (Ex)
QBase	10	-----	-----
Q16*ExEt	10	2	Extrato etanólico de cúrcuma
Q28*ExEt		4	
Q37*ExEt		6	
Q16ExV	10	2	Extrato de cúrcuma em vinagre
Q28ExV		4	
Q37ExV		6	
Q16ExEtV	10	2	Extrato de cúrcuma em vinagre e etanol
Q28ExEtV		4	
Q37ExEtV		6	

*Esses valores referem-se as concentrações de extratos presentes nas formulações em porcentagem.

Após a adição do volume específico de extrato à solução de quitosana, as misturas permaneceram sob agitação magnética a 624 rpm por 30 min à temperatura ambiente. Logo, em seguida, foram acondicionadas em tubos de vidros recobertos com papel alumínio para evitar o contato com a luz.

4.3 CARACTERIZAÇÃO

4.3.1 Composição centesimal

A análise da composição centesimal foi determinada na *Curcuma longa* L. sob a forma de pó. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA) do Departamento de Engenharia de Alimentos da UFPB, em triplicata.

4.3.1.1 Umidade

Cerca de 5g da *Curcuma longa* L. em pó foi colocada em cápsulas de alumínio previamente secas em estufa a 105°C. A amostra foi seca em estufa a 105±5°C por 3 h. Passado esse tempo, o material (cápsula + amostra) foi colocado em dessecador e mantido

por 30 min para então, ser efetuado a primeira pesagem. Os ciclos de aquecimento e resfriamento foram realizados repetidas vezes até peso constante (Lutz-Oal, 2008). O teor de umidade foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$\text{Teor de Umidade} = \frac{(P2-P1)}{P0} * 100 \quad (1)$$

Sendo:

P1 - massa da cápsula + amostra após secagem (g)

P2 - massa da cápsula + amostra antes da secagem (g)

P0 – massa inicial da amostra antes da secagem (g)

4.3.1.2 Cinzas

Inicialmente, cadinhos de porcelana foram previamente aquecidos em estufa a 105°C por 1h. Logo após, colocados num dessecador até atingirem à temperatura ambiente para então, serem pesados. Em seguida, cerca de 3g da *Curcuma longa* L. em pó, foi submetida a uma temperatura de 550°C numa mufla até o aparecimento da coloração branca ou cinza claro do resíduo. O material (cadinho + amostra) foi colocado em dessecador e mantido por 30 min até atingir à temperatura ambiente, para então, ser pesado (Cecchi, 2003).

O teor de cinzas foi calculado baseado na Equação 2.

$$\text{Teor de Cinzas} = \frac{(P2-P1)}{P0} * 100 \quad (2)$$

Sendo:

P1 - massa da cápsula + amostra após secagem (g)

P2 - massa da cápsula + amostra antes da secagem (g)

P0 – massa inicial da amostra antes da secagem (g)

4.3.1.3 Proteínas

O método Kjeldahl consiste em três etapas: digestão, destilação e titulação e, tem como objetivo quantificar o nitrogênio total da amostra e transformar, em nitrogênio proteico (Lutz-Oal, 2008).

Na etapa de digestão, 1g de amostra foi pesado em papel manteiga e transferido para o tubo de Kjeldahl, sendo adicionado de 1g de mistura catalítica (dióxido de selênio (SeO₂), sulfato de cobre (CuSO₄), sulfato de sódio (Na₂SO₄) na proporção 1:10:100 (m/m/m) e 10 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado. Em seguida, o tubo foi conduzido para o digestor e, a temperatura foi aumentada lentamente até 350°C. A digestão foi encerrada quando a suspensão apresentou coloração azulada ou transparente (Lutz-Oal, 2008).

Na etapa de destilação, o tubo à temperatura ambiente, foi lavado com 5 mL de água destilada e adicionado três gotas de fenolftaleína para, então, ser acoplado, individualmente, no destilador de Kjeldahl. Em um Erlenmeyer de 125 mL, foram adicionados 25 mL de solução de ácido bórico a 4% (m/v) com indicador misto (solução alcoólica de vermelho de metila - C₁₅H₁₅N₃O₂ a 0,1% (m/v) e solução de verde de bromocresol - C₂₁H₁₄Br₄O₅S a 0,1% (m/v) na proporção 3:2 (v/v). O Erlenmeyer foi colocado na saída do condensador de Kjeldahl para que o vapor condensado reagisse com o ácido bórico. Foram adicionados lentamente, solução de NaOH a 40% (m/v) até a mudança de cor para roxo ou marrom. Após a viragem da cor, a destilação continuou até o volume final de 75 mL (Lutz-Oal, 2008).

Na etapa da titulação, o Erlenmeyer foi retirado do destilador de Kjeldahl, e a solução foi titulada com ácido clorídrico (HCl) a 0,1N, até o aparecimento da coloração rosa ou vermelha. O teor de proteínas foi calculado baseado na Equação 3.

$$\text{Teor de Proteínas Totais g/100g} = \frac{(Va-Vb)*fa*F*0,14}{P} \quad (3)$$

Sendo:

Va – volume gasto de HCl a 0,1N padronizado na titulação da amostra (mL)

Vb - volume gasto de HCl a 0,1N padronizado na titulação do branco (mL)

fa – fator de correção da solução de HCl a 0,1N

F - fator de correspondência do nitrogênio que depende do tipo de proteína

P – massa da amostra (g)

4.3.1.4 Lipídios

A análise de lipídeos seguiu o método reportado por Bligh e Dyer (1959), que consiste na extração a frio dos lipídios totais, com mistura de clorofórmio (CHCl₃),

metanol (CH₃OH) e água (H₂O), na proporção de 1:2:0,8 (v/v/v), respectivamente. Uma massa de 2,5 g de amostra foi colocada em tubos de ensaios e adicionados 10 mL de clorofórmio, 20 mL de metanol e 8 mL de água. Os tubos foram colocados em agitador rotativo para homogeneização por 30 min. Em seguida, foram acrescentados 10 mL de clorofórmio e da solução de sulfato de sódio anidro a 1,5% (m/v), sendo então, mantidos sob agitação por mais 15 min. Logo após, as amostras foram mantidas em repouso por 1 h, para separação das fases. Passado esse tempo, alíquotas de 5 mL foram coletadas em béqueres de 50 mL, previamente tarados para então, serem submetidas a secagem em estufa a 105°C por 30 min para evaporação do solvente. Em seguida, as amostras foram resfriadas em dessecador por 30 min até a temperatura ambiente e pesadas posteriormente (Eg, 1959). O teor de lipídeos foi calculado baseado na Equação 4.

$$\text{Teor de Lipídios totais} = \frac{[\text{massa final (amostra+béquer)}(g) - \text{massa do béquer}(g)] * 4}{\text{massa da amostra}(g)} * 100 \quad (4)$$

4.3.1.5 Amido

Para determinação do teor de amido, uma massa de 10 g de amostra foi diluída em 50 mL de água destilada e 10 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrado em um Erlenmeyer de 250 mL. Em seguida, o Erlenmeyer foi colocado em autoclave a 120°C por 20 min (Lutz-Oal, 2008).

Com a amostra à temperatura ambiente e com a ajuda de um potenciômetro, a amostra foi neutralizada com NaOH a 40% (m/v), e a mistura foi transferida para um balão volumétrico de 250 mL, sendo adicionado 2 mL da solução de acetato de zinco (ZnC₄H₆O₄) a 30% (m/v) e 2 mL de ferrocianeto de potássio (C₆FeK₄N₆) para clarificar a mistura. Em seguida, fez-se a filtração usando papel de filtro e a mistura foi transferida para uma bureta para ser realizada a titulação das soluções A e B de Fehling (5 mL cada) com 40 mL de água destilada. A titulação foi feita com a mistura Fehling e água destilada em ebulição, até o aparecimento da coloração vermelho tijolo. O azul de metileno a 1% (m/v) foi utilizado como indicador (Lutz-Oal, 2008). O teor de amido foi calculado baseado na Equação 5.

$$\text{Teor de Amido} = \frac{(F * C * 100)}{(P * V)} * 0,9 \quad (5)$$

Sendo:

F – fator do licor de Fehling (F/2 quando o volume usado for de 5 mL)

C – capacidade volumétrica do balão utilizado (250 mL)

P – massa da amostra (g)

V – volume usado na titulação (mL)

4.3.1.6 Açúcares totais

Cerca de 5g de *Curcuma longa* L. em pó foi transferida para um balão volumétrico de 200 mL, cujo volume foi completado com água destilada. A suspensão obtida foi filtrada à vácuo e depois, neutralizada com solução de NaOH a 0,1N. Em seguida, para clarificação, 5 mL de uma solução saturada de acetato de zinco ($\text{ZnC}_4\text{H}_6\text{O}_4$) a 1,0M e 5 mL de ferrocianeto de potássio ($\text{C}_6\text{FeK}_4\text{N}_6$) a 0,25M foram adicionadas. Uma nova filtração a vácuo foi efetuada (Lutz-Oal, 2008).

Após a filtração, a mistura foi transferida para um balão de 250 mL e adicionada 10 mL de HCl concentrado, sendo, em seguida, colocada em banho maria numa temperatura de $70 \pm 2^\circ\text{C}$ por 20 min.

Terminado o processo, a mistura foi resfriada até a temperatura ambiente e neutralizada com NaOH a 40% (m/v) e colocada em uma bureta para fazer a titulação de uma mistura de 5 mL de solução de Fehling A e B e 40 mL de água destilada. A titulação foi feita com a mistura das soluções de Fehling e água em ebulição. A titulação seguiu até o aparecimento da coloração vermelho tijolo, usando azul de metileno a 1% (m/v) como indicador (Lutz-Oal, 2008). O teor de açúcares totais foi calculado baseado na Equação 6.

$$\text{Teor de Açúcares totais} = \frac{(F \cdot C \cdot 100)}{(P \cdot V)} \quad (6)$$

Sendo:

F – fator do licor de Fehling (F/2 quando o volume usado for de 5 mL)

C – capacidade volumétrica do balão utilizado (200 mL)

P – massa da amostra (g)

V – volume usado na titulação (mL)

4.3.2 Atividade da água (a_w)

A medição da atividade de água da *Curcuma longa* L. sob a forma de pó foi feita utilizando um medidor de atividade de água da LabMaster AW, marca Novasina AG (Switzerland), com precisão de $\pm 0,003$ na temperatura de 25°C. Foram analisadas duas amostras, uma seca na temperatura de 100°C por 24 h e a outra amostra armazenada a temperatura ambiente. O procedimento foi realizado em triplicata, utilizando cerca de 1g de amostra. O ensaio foi realizado no Laboratório de Termodinâmica do Departamento de Engenharia Química da UFPB.

4.3.3 Análise granulométrica

A determinação da granulometria da *Curcuma longa* L. sob a forma de pó foi realizada por difração de laser, que utiliza o método de dispersão de partículas associada a um processo de medida óptica, que pode ser operado tanto no modo úmido quanto no seco. Operando no modo seco, o pó em estudo foi disperso através de vibração mecânica sobre o jato de ar comprimido com 2500mb de pressão e frequência de 55 Hz. A dispersão teve período de 15 s e a coleta de dados aconteceu em 5 s. O equipamento utilizado na realização dessa análise foi o CILAS 1090LD com faixa analítica de 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes.

O procedimento foi realizado no Laboratório de Materiais Metálicos (LAMAM) do Departamento de Engenharia de Materiais da UFPB.

4.3.4 Calorimetria exploratória diferencial (DSC) /Análise termogravimétrica (TG)

As análises simultâneas de DSC/TG foram realizadas para a cúrcuma em pó usando o equipamento da marca *TA Instruments*, modelo SDT 650. A amostra com massa de 8,29 mg foi colocada em cadinho de alumina, e submetida a uma temperatura de 30 a 900°C a uma taxa de 10°C/min, usando atmosfera de nitrogênio. A análise foi realizada no Laboratório de Síntese e Caracterização de Filmes Finos (LabFilm) do Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (DEER) da UFPB.

4.3.5 Análise de estabilidade

Para o estudo de estabilidade, medidas de pH, condutividade e temperatura foram realizadas nas amostras de solução de quitosana a 2% (m/v), nos extratos etanólico, vinagre e etanólico:vinagre de cúrcuma, e nas misturas de quitosana com os extratos nas

diferentes proporções (Q16, Q28 e Q37). As medidas de pH foram feitas em potenciômetro Analyser, modelo pH 300, e as análises de condutividade e temperatura no equipamento Hanna Instruments – Edge, nos períodos de 0, 15, 30 e 60 dias. Além disso, as amostras também foram monitoradas por inspeção visual em função do tempo mediante registro fotográfico, com o intuito de observar possíveis mudanças de cor, odor, separação de fases, floculação, precipitação das suspensões e misturas etc..

4.3.6 Espectroscopia de absorção molecular na região do ultravioleta – visível (UV-Vis)

As análises UV-Vis foram realizadas num equipamento da marca *Shimadzu*, modelo 2600 Plus. O espectro de UV-Vis da *Curcuma longa* L. em pó foi obtido à temperatura ambiente na faixa espectral de 220 a 1400 nm, e, os dos extratos de cúrcuma, solução de quitosana e misturas quitosana:extratos, foram registrados na faixa de 220 a 800 nm com resolução de 2 nm. A análise foi realizada no Laboratório LabFilm do DEER da UFPB.

4.3.7 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

As análises de FTIR foram realizadas num espectrofotômetro da marca *Shimadzu*, modelo IR Trace 100, acoplado ao modo de reflectância total atenuada (ATR). Os espectros de FTIR da *Curcuma longa* L. em pó, extratos de cúrcuma, solução de quitosana e misturas quitosana:extratos, foram registrados à temperatura ambiente na região espectral de 4000 a 600 cm^{-1} e resolução de 2 cm^{-1} . Essas análises também foram realizadas no Laboratório LabFilm do DEER da UFPB.

4.3.8 Espalhamento dinâmico de luz (EDL) e potencial Zeta

A determinação do diâmetro de partícula e da polidispersividade (PDI) foi realizada a 25 °C, por meio de medidas de espalhamento dinâmico de luz (EDL), utilizando um equipamento *Brookhaven Instruments*, *ZetaPALS* (*Zeta Potencial Analyser*). O instrumento opera com laser de He-Ne, $\lambda = 659 \text{ nm}$ e a detecção é feita em um único ângulo de 90°. As medidas de potencial Zeta médio das partículas foram realizadas a 20,5 °C, pela técnica de microeletroforese associada à anemometria *Doppler de laser*, submetendo-se a amostra a um campo elétrico de 11,02 V/cm, frequência de 2,00 Hz e tensão de 4V no equipamento *Brookhaven Instruments*.

As amostras foram preparadas a partir de uma diluição de 1:100 v/v (amostra:solvente) – (para o extrato de cúrcuma foi usado o solvente referente a cada processo de extração, enquanto que para as misturas de quitosana/extrato, o solvente usado na diluição foi a solução aquosa de ácido acético a 1% v/v). Logo após, as amostras foram acondicionadas em tubos tipo Falcon e envolvidas com papel alumínio para evitar o contato direto com a luz, para então, serem efetuadas as medidas usando uma cubeta de quartzo. As análises foram realizadas no Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste (CERTBIO) da UFCG.

4.3.9 Atividade antimicrobiana *in vitro*

Análises de atividade antimicrobiana dos extratos de cúrcuma, solução de quitosana e das misturas quitosana:extrato a 37% (v/v), foi realizada utilizando o método da microdiluição conforme reportado na literatura (Devienne; Raddi, 2002).

Inicialmente, as soluções-teste foram diluídas em solução de dimetilsulfóxido (C_2H_6OS) a 2% (v/v). O teste de atividade foi realizado contra as cepas *Escherichia coli* ATCC 25922; *Staphylococcus aureus* ATCC 13150; *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25783 e *Candida albicans* ATCC 76645, cujas suspensões foram preparadas a partir de cultura recente e com turbidez padronizada com o tubo nº 0,5 da escala de MacFarland. O ensaio foi realizado em microplacas com fundo em U, preenchidos com partes iguais de caldo Müeller-Hinton duplamente concentrado e da solução-teste. Uma alíquota de 10 μ L da solução de cada microrganismo teste foi posteriormente dispensada nos poços e, as microplacas foram incubadas à 37°C. Após 24 h, a absorbância a 600 nm do meio foi determinada usando um espectrofotômetro de microplaca (BiotekSynergy HT) e o percentual de células foi calculado pela Equação 7 (Charlton, 2008).

$$\% = \left(\frac{OD_{controle} - OD_{tratamento}}{OD_{controle}} \right) * 100 \quad (7)$$

Sendo:

$OD_{controle}$ – Absorbância da amostra controle;

$OD_{tratamento}$ – Absorbância da amostra analisada.

Foram preparados controle da esterilidade do meio e da viabilidade celular. O ensaio foi realizado em triplicata no Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMA) do Centro de Biotecnologia da UFPB.

4.3.10 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante dos extratos de cúrcuma, solução de quitosana e misturas quitosana:extrato, foi determinada medindo a atividade de eliminação de radicais livres usando o ensaio 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) conforme metodologia proposta por Brand-Williams *et al.* (1995), com algumas adaptações.

Inicialmente, 1,4 mg de DPPH foi diluída em 50 mL de álcool etílico sob agitação magnética a 1128 rpm (Agitador Fisatom modelo 752A) à temperatura ambiente por 10 min. Durante todo o tempo de preparação e análise, a solução foi mantida ao abrigo de luz, envolvida com papel alumínio. Essa solução foi usada como amostra controle. Em seguida, cada extrato nas quantidades de 25, 30, 35, 40 e 50 mg foi diluído usando 3mL do respectivo solvente de cada processo de extração.

Logo após, 0,5 mL dos extratos de cúrcuma diluídos foram adicionados a 2,5 mL da solução controle de DPPH, e mantidas na ausência de luz, utilizando papel alumínio para envolver o recipiente, por um período de 3h. Após esse período, a absorbância foi determinada a 517 nm, usando um espectrofotômetro de absorção molecular UV-Vis da marca *Shimadzu*, modelo 2600 Plus.

A atividade antioxidante foi determinada pela porcentagem de sequestro do radical DPPH, e calculada de acordo com a Equação 8.

$$\%AA = \left(\frac{ABS_{DPPH} - ABS_{amostra}}{ABS_{DPPH}} \right) * 100 \quad (8)$$

Sendo:

AA – atividade antioxidante (% de sequestro do radical livre DPPH)

ABS_{DPPH} – absorbância da solução controle de DPPH em 517 nm

ABS_{amostra} – absorbância da amostra em 517 nm

Baseado nos resultados obtidos pelos extratos, diluições de 35 e 50 mg por 3 mL de solvente, foram selecionadas para serem trabalhadas nas misturas quitosana/extrato. O

solvente da solução de quitosana foi a solução aquosa de ácido acético a 1% (v/v), e o solvente das misturas quitosana:extrato foi o respectivo solvente de cada extrato.

4.3.11 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Filmes de quitosana e das misturas de quitosana com os 3 diferentes extratos de cúrcuma foram preparados pela técnica de *Casting* para análise morfológica através da microscopia eletrônica de varredura.

As amostras foram preparadas seguindo a metodologia já apresentadas nos Itens: Preparação da solução de quitosana e Preparação das formulações quitosana/extratos. Logo após, um volume de 10 mL de amostra, foi vertido em moldes de silicone para evaporação do solvente à 40 °C por 24h, usando uma estufa de circulação e renovação de ar da marca SPLabor modelo SP-102. Passado esse tempo, as amostras foram destacadas dos moldes e obtidas sob a forma de filmes (Figura 12). Logo após, os filmes foram fraturados em nitrogênio líquido e fixados com fita de carbono nos *stubs* com o intuito de analisar a superfície de fratura.

As amostras foram recobertas com uma fina camada de ouro, de espessura em torno de 22,5 nm e corrente de 25 mA por um tempo de 1 min e 20 s, utilizando o metalizador Emitech, modelo K550X. As micrografias das superfícies fraturadas foram geradas através de um detector de elétrons secundários, usando uma tensão de 10 kV, corrente de 0,95 nA e distância de trabalho de 9,5 mm. As imagens foram registradas com ampliações de 1000, 2000, 3000 e 4000X através do microscópio eletrônico de varredura da marca FEI Company, modelo Quanta 450 do Laboratório de Tecnologia de Novos Materiais do IDEP do Departamento de Engenharia Civil da UFPB.

Figura 12: Filmes de quitosana:extrato de cúrcuma



4.3.12 Preparação das uvas e aplicação das formulações por imersão para recobrimento das uvas

Primeiramente, as amostras de Uva-Vitória adquiridas para a pesquisa em setembro de 2023, foram coletadas da plantação num único dia. No dia seguinte, as uvas foram transportadas da cidade de Petrolina-PE para João Pessoa-PB para comercialização na CEASA. No mesmo dia, em torno de 4 Kg de uvas foram adquiridas e conduzidas ao Laboratório de Materiais Poliméricos da UFPB para sua devida preparação.

Inicialmente, as uvas foram lavadas com água corrente para a retirada de possíveis sujidades. Logo depois, foram submetidas a sanitização com solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm e mantidas submersas por 15 min. Em seguida, foram enxaguadas com água potável e secas à temperatura ambiente. Passado esse tempo, as uvas foram divididas em quatro grupos: amostra controle (sem recobrimento), amostra recoberta com extrato

de cúrcuma, amostra recoberta apenas com solução de quitosana e amostra recoberta com a mistura da solução de quitosana:extrato a 37% (v/v).

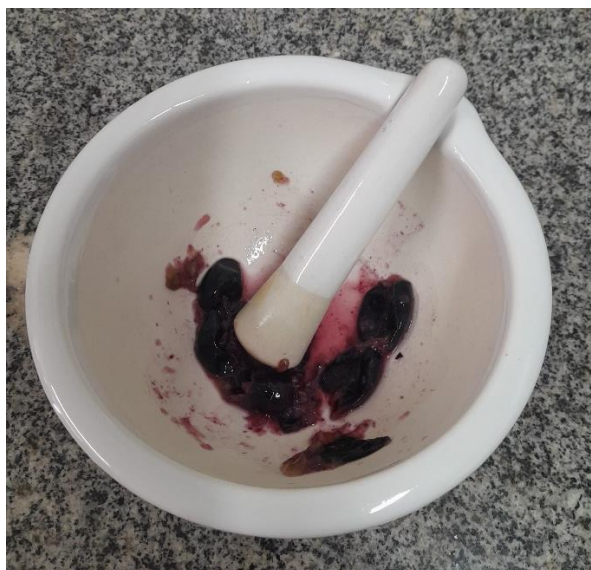
Logo após, as uvas foram separadas em cachos menores e submetidas ao processo de imersão por aproximadamente 3s para recobrimento das frutas usando diferentes tipos de extratos de cúrcuma (ExEt, ExV e ExEtV), misturas da solução de quitosana:extrato (Q37ExEt, Q37ExV e Q37ExEtV), e solução de quitosana pura (QBase). Uma amostra controle, sem recobrimento, também foi separada e colocada em placas de Petri. As amostras com e sem recobrimentos foram mantidas na temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ em estufa de cultura da marca Fanem, modelo 002CB por um período de 21 dias (Figura 13).

Figura 13: Amostras de uva com e sem recobrimento



Todas as amostras (com e sem recobrimentos), foram submetidas as seguintes análises: determinação do °Brix, usando um refratômetro da marca Atago, modelo N-1E, medidas de pH em pHmetro Analyser, modelo pH 300, perda de massa ao longo do tempo, aspecto visual e acidez titulável. Para isso, as amostras foram maceradas com almofariz e pistilo (Figura 14) e todos os tratamentos foram avaliados em intervalos de tempo de 0, 7, 14 e 21 dias em quadruplicata, totalizando 128 amostras.

Figura 14: Amostra de uva macerada



Para a determinação do °Brix, 2 gotas da amostra macerada foram colocadas sobre o prisma do equipamento. Em seguida foi colocada a tampa do prisma, e a leitura foi efetuada pelo observador através da lente ocular.

Para as medidas de pH, o eletrodo devidamente calibrado foi imerso na amostra macerada, aguardando alguns segundos até a estabilização da medida. Em seguida, o potencial hidrogeniônico foi verificado através do display do equipamento e registrado o seu valor.

Para a determinação da perda de massa, as uvas foram pesadas (quadruplicata) utilizando uma balança analítica nos dias 0, 7, 14 e 21, e foi verificado a média do decaimento da massa das uvas ao longo do tempo. O aspecto visual das amostras foi verificado por meio de fotografias registradas nos dias 0, 7, 14 e 21, a fim de identificar mudanças na superfície e na estrutura do material.

A acidez titulável foi determinada segundo Lutz–Oal (2008). O procedimento consistiu em transferir 3 g de amostra para um Erlenmeyer e diluir em 30 mL de água destilada. A amostra diluída foi titulada com solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1N, e adicionada 3 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$) a 1% (m/v) como indicador. A titulação seguiu até o aparecimento da coloração rosa.

A acidez foi expressa em (g) de ácido por 100 g de amostra através da Equação 9.

$$At = \frac{n \cdot N \cdot Eq}{10 \cdot p} \quad (9)$$

Sendo:

At – acidez titulável (g/100g)

N – normalidade da solução de hidróxido de sódio (0,1N)

n – volume da solução de hidróxido de sódio gastos na titulação (mL)

p – massa da amostra (g)

Eq – Equivalente-grama do respectivo ácido, no caso da Uva, o ácido titulável é o ácido tartárico que possui Equivalente-grama de 75,04

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA CÚRCUMA EM PÓ

5.1.1 Composição centesimal

O rizoma da *Curcuma longa* L. é a porção mais utilizada dessa espécie, podendo esse ser encontrado principalmente na forma *in natura* ou como pó desidratado. Esse rizoma é utilizado para diversas finalidades terapêuticas, culinárias e, ultimamente tem despertado interesse da indústria alimentícia devido ser um importante antioxidante natural (Marchi *et al.*, 2016). Diante das suas inúmeras aplicações, é de suma importância o conhecimento da sua composição química para que se tenha uma maior clareza na difusão do seu uso. A Tabela 6 apresenta a composição centesimal do rizoma cúrcuma sob a forma de pó desidratado (CP) em estudo nesse trabalho.

Tabela 6: Composição centesimal da cúrcuma desidratada sob a forma de pó

Análise	Valores (%)
Umidade	7,80± 0,365
Cinzas	5,83± 0,069
Amido	30,94 ± 1,270
Proteínas	6,83 ± 0,099
Açúcares totais	6,58 ± 0,050
Lipídeos	16,48 ± 0,298

Análises do teor de umidade, cinzas, acidez, proteína, lipídeos, fibras e carboidratos, desempenham um papel crucial na garantia da segurança e qualidade dos produtos, permitindo assim o controle de qualidade dos alimentos a partir de análises quantitativas (Cecchi, 2003).

A umidade estar relacionada ao teor de água livre presente na superfície dos alimentos. Corresponde à perda em peso sofrida pelo produto quando aquecido em condições nas quais a água é removida. Esse fator pode ser determinado por gravimetria, baseando-se na diminuição do peso do alimento quando a água é evaporada (Zenebon; Pascuet, 2005). Diante disso, pode-se observar na Tabela 6, um teor de umidade de 7,8% para a cúrcuma desidratada, estando de acordo com os valores encontrados por Braga *et*

al. (2003) e Custódio (2014). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (1999) e com a Farmacopeia Brasileira (2010), a quantidade máxima de água em uma droga vegetal deve ser de 10% e 12%, respectivamente. Dessa forma, os valores encontrados pelos autores estão de acordo com o que se preconiza para aplicação farmacêutica. Além disso, a baixa quantidade de água na cúrcuma desidratada caracteriza o produto como não perecível, tornando-o mais estável e com um maior tempo de validade, pois diminui sua susceptibilidade a proliferação e ação de microrganismos (Lima, 2020).

O teor de cinzas é obtido a partir da incineração da matéria orgânica, representando a porção mineral presente nos alimentos. Sua determinação é de suma importância para calcular o valor nutritivo de um alimento (Caetano *et al.*, 2012). Nesse trabalho foi encontrado um valor de 5,83%, intermediário aos reportados na Tabela 7 abaixo. De acordo com a Farmacopéia brasileira (2019), o teor de cinzas da cúrcuma, originário de rizomas secos, deve ter, no máximo, 8% de cinzas totais, o que é atendido pelas espécies por terem sido preparadas diretamente da matéria-prima.

O amido é o polissacarídeo de reserva mais abundante nas plantas e mais utilizado como alimento. É uma mistura de dois polissacarídeos, a amilose e amilopectina, em quantidades que variam entre os amidos provenientes de diferentes espécies e até mesmo da mesma espécie, em que as proporções de amilose e amilopectina variam também com o grau de maturação das plantas (Maniglia, 2012). O teor encontrado para a cúrcuma desidratada foi de 30,94%, muito superior ao encontrado por Braga *et al.* (2003) num valor de 19%.

As proteínas são moléculas de estrutura complexa, cujos valores nutricionais distinguem-se, dependendo da composição de aminoácidos, sensibilidade à hidrólise durante a digestão, pureza e efeitos de processamento aplicados, tais como tratamentos térmicos (Da Silva Alves *et al.*, 2020). O teor de proteína da cúrcuma desidratada foi de 6,85%, bem inferior aos encontrados na Tabela 7. Leonel *et al.* (2003) também encontraram valores menores de proteína para rizomas de *Curcuma longa* desidratados, de 2,02%. Essa diferença nos valores de proteína pode ser decorrente de fatores associados a maturação do rizoma, forma de plantio, local de plantação, práticas agrícolas, uso de fertilizantes e tipo de secagem (Fontes, 2018).

Açúcares totais são todos os monossacarídeos e dissacarídeos presentes nos alimentos que são digeridos, absorvidos e metabolizados pelo ser humano, excluindo os polióis (Brasil, 2020). O valor encontrado para a cúrcuma desidratada foi de 6,58%.

Os lipídeos são substâncias hidrofóbicas que desempenham funções energéticas, estruturais e hormonais no organismo, funcionando como veículo de vitaminas lipossolúveis, ácidos graxos, corantes, saciedade, barreira contra umidade (Gonçalves *et al.*, 2012).

O teor de lipídeos encontrado para cúrcuma desidratada foi de 16,48%; muito superior aos valores reportados por Braga *et al.* (2003) e Custódio (2014), 5,10 e 3,11%, respectivamente. Esse teor se torna importante quando os rizomas são transformados em extrato de óleo essencial, com observações importantes ao seu armazenamento e influência nas características organolépticas em função da deterioração oxidativa dos lipídeos. Os diferentes valores de lipídeos são decorrentes de fatores associados a maturação do rizoma, forma de plantio, local de plantação, práticas agrícolas, uso de fertilizantes e tipo de secagem (Fontes, 2018).

Por outro lado, baixos percentuais de lipídeos podem influenciar de forma marcante as características organolépticas da cúrcuma. Esses percentuais chamam a atenção da indústria alimentícia, pois dificultam os riscos da ocorrência de fenômenos químicos como rancidez hidrolítica, oxidativa e reversão durante o armazenamento, processamento e uso (Osawa *et al.*, 2006). Além disso, reações oxidativas dos lipídeos podem gerar aromas indesejáveis nos alimentos, causar alteração na cor e reduzir a qualidade nutricional dos alimentos, comprometendo a utilização do produto final (Lima, 2020).

A composição centesimal da *Curcuma longa* L. pode variar em função do cultivo, tipo de solo, clima, adubação, disponibilidade de água, período da colheita, tempo e condições de armazenamento (Scartezzini; Speroni, 2000; Leonel; Cereda, 2002). Tais fatores podem ter sido a causa das variações encontradas na literatura.

Segundo Pereira e Stringheta (1998), a composição centesimal do rizoma de cúrcuma normalmente, possui de 2 a 7% de fibras, 25 a 50% de amido, 1 a 5% de óleo essencial, 3 a 7% de cinzas e 2 a 7% de proteínas, pigmentos curcuminóides e óleos essenciais.

Na Tabela 7, é exibida a composição centesimal do rizoma de cúrcuma em pó segundo Braga *et al.* (2003) e Custódio (2014).

Tabela 7: Composição centesimal do rizoma de cúrcuma desidratada, segundo a literatura

Análises	Braga <i>et al.</i> (2003)	Custódio (2014)
Umidade (%)	8,00	7,27
Proteína (%)	10,70	14,53
Amido (%)	19,00	-
Fibra (%)	3,00	-
Cinzas (%)	8,50	3,04
Lipídeos (%)	5,10	3,11

A partir desses valores é possível concluir que a Cúrcuma desidratada sob a forma de pó apresenta-se com características dentro dos parâmetros aceitáveis para aplicação na indústria de alimentos. Segundo o comitê FAO, a Ingestão Diária Aceitável de curcumina está entre 0 a 3 mg/Kg de massa corporal (Jecfa, 2006).

5.1.2 Atividade de água

A medida empregada para expressar a estabilidade de um produto é a determinação do nível de água em sua forma livre, que em alimentos, denomina-se Índice de Atividade de Água (a_w). O valor de a_w mostra a forma que a água é utilizada pelos microrganismos, podendo ser uma via para crescimento de bolores e leveduras o que diminui a qualidade do alimento (Damodaran; Parkin, 2018). As reações de deterioração microbiana têm sua velocidade reduzida com a diminuição do valor de a_w , até que em valores abaixo de 0,2, todas as reações estejam praticamente inibidas, com exceção da oxidação de lipídeos (Ditchfield, 2000).

Brochier (2013) cita que vários autores defendem que a atividade de água mínima necessária para que haja crescimento de microrganismos depende do tipo de soluto; e que a literatura estabelece alguns intervalos limite para que a contaminação dos produtos seja facilitada. Microrganismos osmofílicos se desenvolvem em a_w até 0,6; alguns bolores podem crescer em a_w igual a 0,8; leveduras estão propícias a existir em a_w até 0,87; e bactérias patogênicas podem se desenvolver em ambientes com a_w até 0,91.

Com a_w entre 0,2 e 0,4, não é necessário o uso de conservantes para controlar o crescimento de microrganismos e a qualidade do produto não é afetada pelo escurecimento não-enzimático e pela oxidação de lipídeos (Araújo, 2001).

Na Tabela 8, estão exibidos os resultados de atividade de água para a cúrcuma desidratada sob a forma de pó (CP) mostrando que a secagem a 100°C por 24h indica uma excelente margem de segurança alimentar, conferindo estabilidade microbiológica e, conseqüentemente, um aumento na vida útil do produto. Por outro lado, a mesma amostra sem secagem fica sujeita ao desenvolvimento de microrganismos do tipo osmofílicos, cujo valor encontrado para a_w foi de 0,645. A secagem, então, vem proporcionar aos alimentos que facilmente são atacados por microrganismos, a possibilidade de melhoria de suas propriedades químicas e físico-químicas, além de promover uma gama de aplicações para a cúrcuma em estudo.

Tabela 8: Atividade de água da cúrcuma desidratada sob a forma de pó

Amostra	a_w
CP sem secagem	0,645 ± 0,0008
CP seca a 100°C/24h	0,084 ± 0,0021

Bagatini (2023) estudou a adição de 2, 8 e 15% de *Curcuma longa* L. em pães integrais, obtendo valores a_w de 0,85, 0,87 e 0,87, respectivamente. Foi observado que quanto maior a quantidade de cúrcuma, maior o valor de atividade de água e, conseqüentemente, uma maior capacidade de retenção e absorção de água pelo pó, indicando maior quantidade de água livre disponível no produto. Esses resultados caracteriza o produto como perecível, tornando-o mais instável pois aumenta sua susceptibilidade a proliferação e ação de microrganismos.

Fellows (2018) afirma que, valores de a_w próximo a 0,90 apresentam estabilidade crítica, o que favorece a perecibilidade do produto, e conseqüentemente, afeta sua estabilidade quanto ao ataque microbiano, qualidade e composição. O alimento nesse caso não terá uma vida de prateleira muito longa.

De Freitas *et al.* (2023) fizeram uma análise comparativa dos compostos bioativos presentes nos rizomas de açafrão *in natura* e no seu condimento comercial em pó e observaram que um maior valor de a_w foi encontrado na cúrcuma comercializada com 0,65 a 25°C, enquanto o açafrão fresco apresentou a_w de 0,44 a 25°C. Esses resultados sugerem um possível ataque microbiano na cúrcuma comercial ser maior do que na fresca, reduzindo assim sua qualidade e tempo de vida útil.

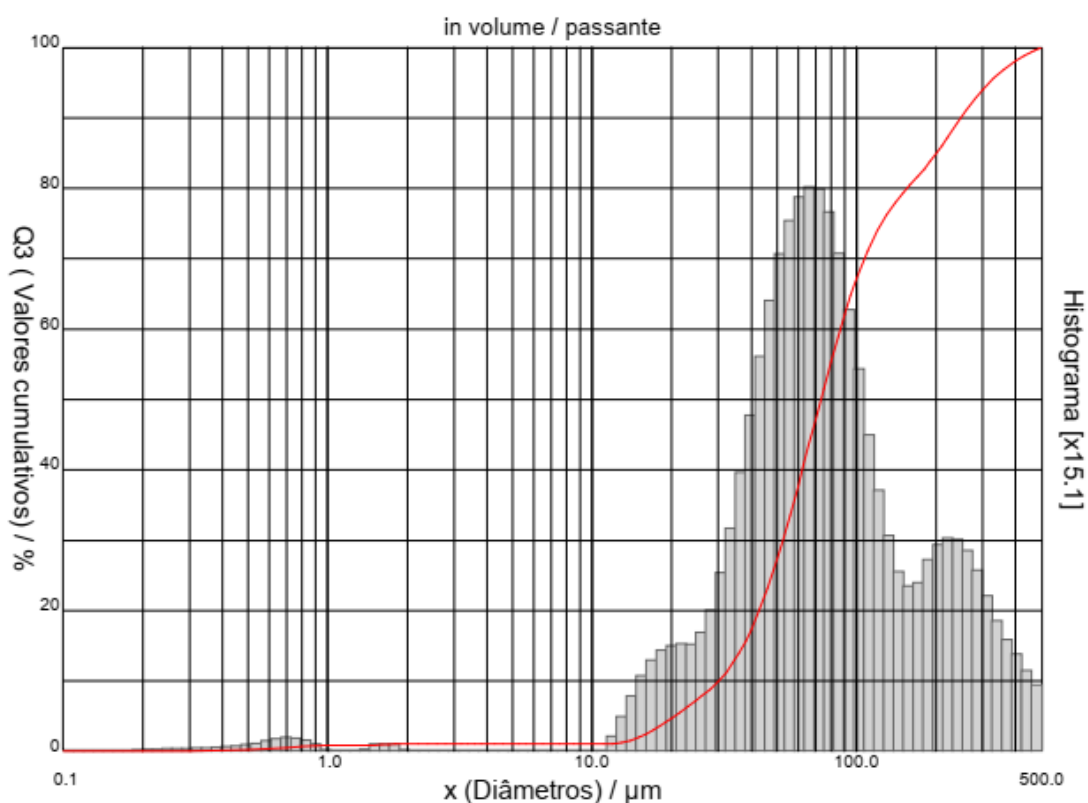
5.1.3 Análise granulométrica

A distribuição granulométrica é uma análise importante em vários aspectos para os alimentos em pó, como por exemplo, no processamento, manipulação e na determinação de sua vida de prateleira. Dependendo do produto, o tamanho das partículas pode influenciar o sabor, a cor, a textura e o odor do produto final (O'Hagan *et al.*, 2005).

Na curva de distribuição granulométrica para a cúrcuma em pó (CP) (Figura 15), observa-se um tamanho médio de partículas igual a 106,60 μm , cujo gráfico apresenta um perfil polimodal com três picos distintos, cada um apresentando uma fração de tamanhos dominantes: 10% da amostra possui um tamanho de partícula de 30,13 μm , 50%, 73,20 μm e 90%, 248,35 μm . Essa heterogeneidade de tamanhos é característica da cúrcuma desidratada sob a forma de pó usada nesse trabalho e que foi adquirida diretamente do comércio, sem aplicar nenhum tratamento adicional.

Na Figura 15, pode-se ver o histograma da distribuição do tamanho das partículas.

Figura 15: Distribuição granulométrica da cúrcuma em pó.

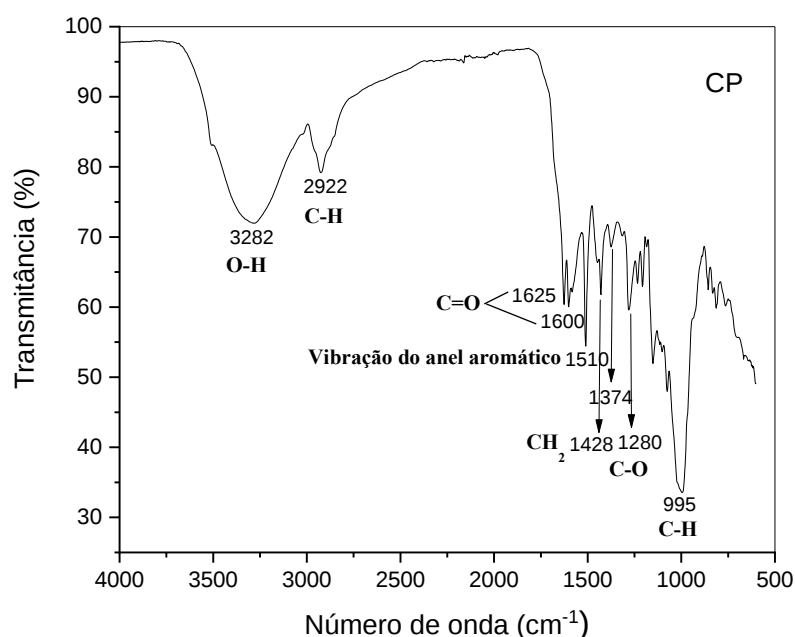


5.1.4 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

As partes da planta são constituídas por diversos compostos químicos, cujos grupos funcionais podem absorver radiação infravermelha em comprimentos de onda

específicos, de modo que a partir dos espectros de FTIR é possível identificar os grupamentos funcionais característicos dos bioativos em estudo. Esses grupamentos, permitem sugerir os prováveis constituintes químicos das plantas, como os princípios ativos, ajudando na definição das aplicações para cada caso (Dos Santos; Leite, 2023). A Figura 16 apresenta o espectro no infravermelho para a cúrcuma desidratada em pó (CP).

Figura 16: Espectro de FTIR para a cúrcuma desidratada em pó (CP)



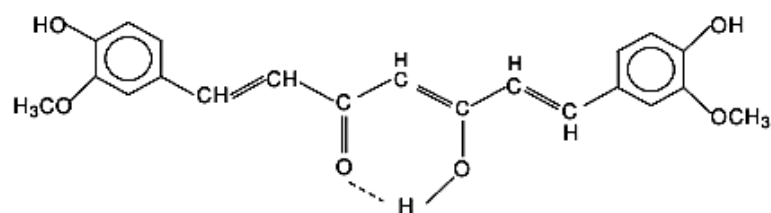
A partir do espectro de FTIR da CP (Figura 16), observa-se uma banda em 3282 cm^{-1} correspondente à deformação axial do grupo O-H (Fernández-Marín *et al.*, 2021). Em 2922 cm^{-1} , verifica-se a presença de uma banda característica das deformações simétrica e assimétrica da ligação C-H (Maniglia, 2012), pertencente à cadeia alifática, presente na estrutura molecular da curcumina e desmetoxicurcumina como pode ser observado na Figura 17. As bandas em 1625 e 1600 cm^{-1} , referem-se as vibrações de estiramento da ligação C=O (Fernández-Marín *et al.*, 2021). Em 1510 cm^{-1} , uma banda característica da vibração do anel aromático presente na lignina (Maniglia, 2012) e, em 1428 cm^{-1} , uma banda associada à ligação do grupo CH_2 (Dos Santos; Leite, 2023). As bandas em 1374 e 1280 cm^{-1} , correspondem as vibrações de estiramento da ligação C-O, referente ao anel benzeno, indicando a presença dos curcuminóides (Feng *et al.*, (2012). A banda em 995 cm^{-1} corresponde a flexão da ligação C-H dos grupos alceno.

A partir desse espectro, foi possível identificar os grupos funcionais presentes nos curcuminóides, onde a presença da curcumina, principal componente da cúrcuma, é evidenciado pela presença de três bandas principais em 1625, 1600 e 1510 cm^{-1} (Dos Santos; Leite, 2023). A identificação desse bioativo já era esperada, tendo em vista que a amostra em estudo apresenta coloração amarelo-alaranjada além de odor característico e sabor amargo. O rizoma da cúrcuma pode conter de 4 a 8 mg/100 g de pigmentos curcuminóides. Os teores desses pigmentos podem variar de acordo com a variedade da espécie ou formas de cultivo, período de desenvolvimento do bulbo e às práticas culturais (Mathai, 1976).

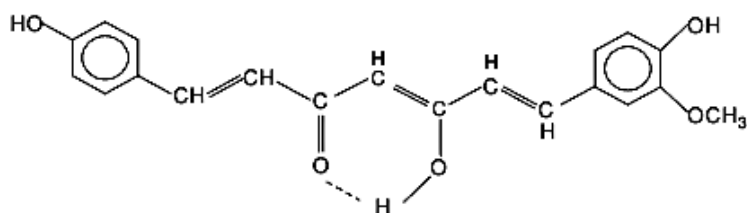
Os três pigmentos curcuminóides encontrados na cúrcuma são análogos estruturalmente, e pertencem à classe diferoluilmetano ($\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_6$). A curcumina, 1,7-bis(hidroxi-3-metoxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona, possui dois grupos metoxila (OCH_3), a desmetoxicurcumina apenas um, e a bisdesmetoxicurcumina nenhum (Figura 17). Esses pigmentos estão presentes em concentrações que variam de 4 a 6 mg/100 g para curcumina; de 4 a 3 mg/100 g para desmetoxicurcumina, e de 3 a 2 mg/100 g para a bisdesmetoxicurcumina (Martins; Rusig, 1992). O anel benzênico ligado a um ou mais grupamentos hidroxilas ($-\text{OH}$) caracteriza a atividade antioxidante da curcumina e essa propriedade tem sido alvo de pesquisas na linha de prevenção ou atenuação de doenças crônicas não transmissíveis causadora de estresse oxidativo, como aterosclerose, diabetes, doenças cardiovasculares e hipertensão (Pandey; Rizvi, 2009).

A curcumina, principal pigmento da cúrcuma, é responsável pelos efeitos anti-inflamatórios e antioxidantes que atuam na proteção dos componentes celulares e processos oxidativos, combatendo radicais livres. Entretanto, devido à presença desse constituinte, a cúrcuma pode apresentar significativa atividade antioxidante, podendo ser apontada como fonte dietética de antioxidantes naturais de grande interesse da indústria alimentícia como substituto dos antioxidantes sintéticos (Sueth-Santiago *et al.*, 2015).

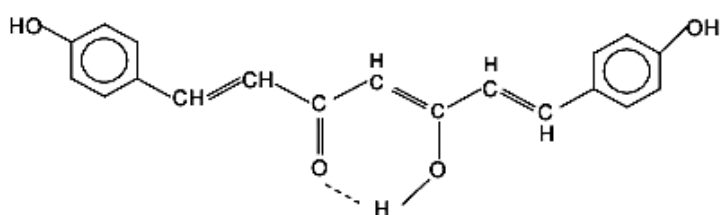
Figura 17: Estrutura química dos pigmentos curcuminóides da *Curcuma longa* L.



Curcumina



Desmetoxicurcumina

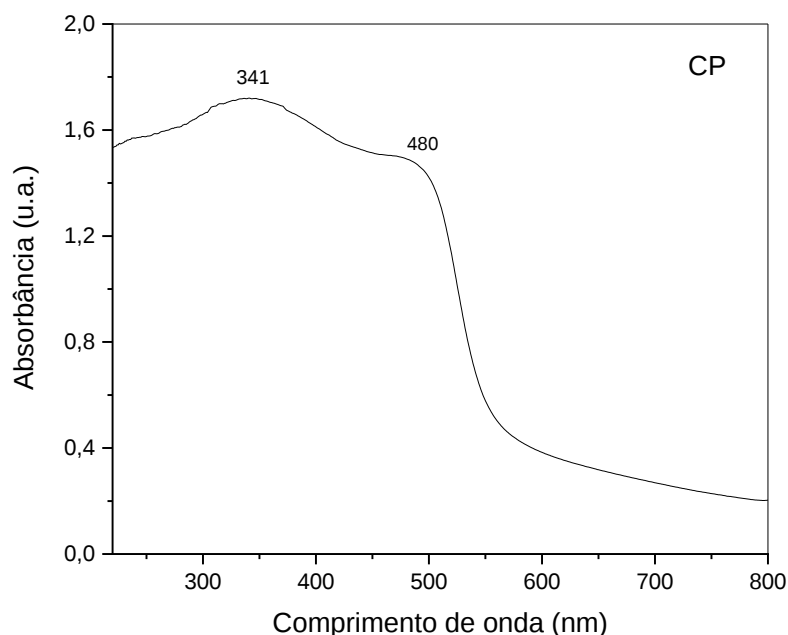


Bisdemetoxicurcumina

5.1.5 Espectroscopia de absorção molecular na região do Ultravioleta – Visível (UV-Vis)

A espectroscopia de absorção molecular na região do UV-Vis permite a identificação dos compostos ativos existentes na *Curcuma longa* L., que conferem cor e atividade antioxidante ao material. A Figura 18 apresenta o espectro de UV-Vis para a cúrcuma desidratada em pó.

Figura 18: Espectro de absorção molecular na região do UV-Vis da CP



No espectro de absorção UV-Vis para a CP em pó (Figura 18), observa-se a presença de duas bandas de absorção com máximos em 341 e 480 nm, atribuídas possivelmente ao componente majoritário presente na *Curcuma longa* L., a curcumina. Segundo Dos Santos e Leite (2023) as absorções máximas esperadas para a curcumina ocorrem na faixa de 350 a 480 nm, podendo variar dependendo do estado físico do material analisado, solvente, pH e das condições de extração. Esses resultados corroboram com os dados de FTIR, discutidos anteriormente, onde foi identificado a curcumina como o princípio ativo presente em maior quantidade na cúrcuma em estudo.

Segundo Masek *et al.* (2013), a curcumina apresenta banda de absorção, forte e intensa na faixa de 350–480 nm. García Ariza *et al.* (2017) mostram outras faixas de absorções máximas que podem estar associadas a curcumina de 419-425 nm, desmetoxicurcumina de 418-422nm e bisdemetoxicurcumina de 414-418 nm.

A presença desse bioativo caracteriza a atividade antioxidante da cúrcuma. Essa propriedade tem sido alvo de pesquisas na linha de prevenção ou atenuação de doenças crônicas não transmissíveis causadora de estresse oxidativo (Pandey; Rizvi, 2009).

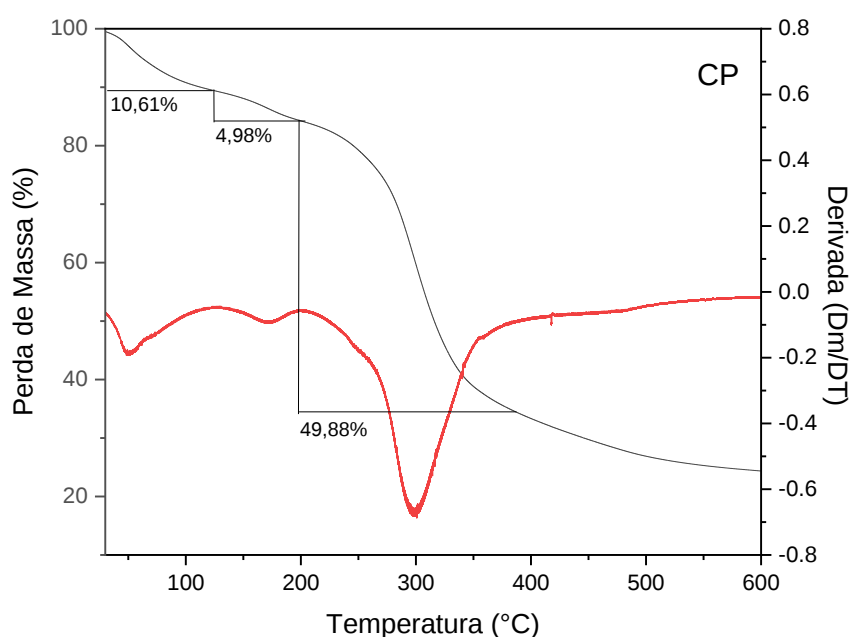
5.1.6 Análise térmica

5.1.6.1 Análise termogravimétrica (TG)

A avaliação da estabilidade térmica da cúrcuma desidratada em pó, foi medida por análise termogravimétrica a fim de observar a variação de massa da amostra, em função da temperatura. O intuito é avaliar o comportamento térmico do material, identificando as faixas de temperaturas que ocorrem as etapas de decomposição, desidratação ou oxidação (Plante *et al.*, 2009). Esse é um dado importante, uma vez que define a aplicação do material.

Nas curvas de TG/DTG ilustradas na Figura 19, é possível observar 3 eventos de perdas de massa. No primeiro evento, a amostra apresenta uma perda de massa de 10,61% no intervalo de 30 a 125°C, que corresponde a desidratação da cúrcuma. O segundo é registrado na faixa de 125 a 197 °C, correspondendo a 4,98 % de perda de massa, decorrente da decomposição de grupos substituintes pertencentes à estrutura química dos curcuminóides (-OH, -OCH₃). Um terceiro evento é observado na faixa de 197 a 386 °C, apresentando uma perda de massa em torno de 49,88 % referente à decomposição dos anéis benzeno, presentes na curcumina, desmetoxicurcumina, e bisdemetoxicurcumina caracterizados como pigmentos curcuminoides (Figura 17). Comportamento similar tem sido reportado por Chen *et al.* (2014).

Figura 19: Curva de TG/DTG para a cúrcuma em pó (CP)



5.1.6.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A Calorimetria Exploratória Diferencial, permite estudar os eventos relacionados à fusão, cristalização, evaporação, equilíbrios de fase, sublimação, transformações vítreas e polimórficas, desidratação, isomerização, adsorção e degradação das substâncias. Quando a amostra sofre uma alteração de temperatura, é possível medir a diferença de fluxo de calor usada para manter a amostra e a referência na mesma temperatura. Essa diferença pode ser devido a reações químicas (decomposição), mudança de estado (fusão, sublimação) ou transições cristalinas (Oliveira *et al.*, 2011).

Na curva de DSC da cúrcuma em pó (CP) (Figura 20), observa-se um pico endotérmico com máximo em 69,4 °C (30-800°C), referente à perda de água livre no material. Em seguida, aparece um pico exotérmico com início em 325 °C, que caracteriza o início da decomposição térmica associada aos curcuminoides, tendo a partir desse valor uma acentuada decomposição que vai até 800 °C como evidenciado na Figura 20.

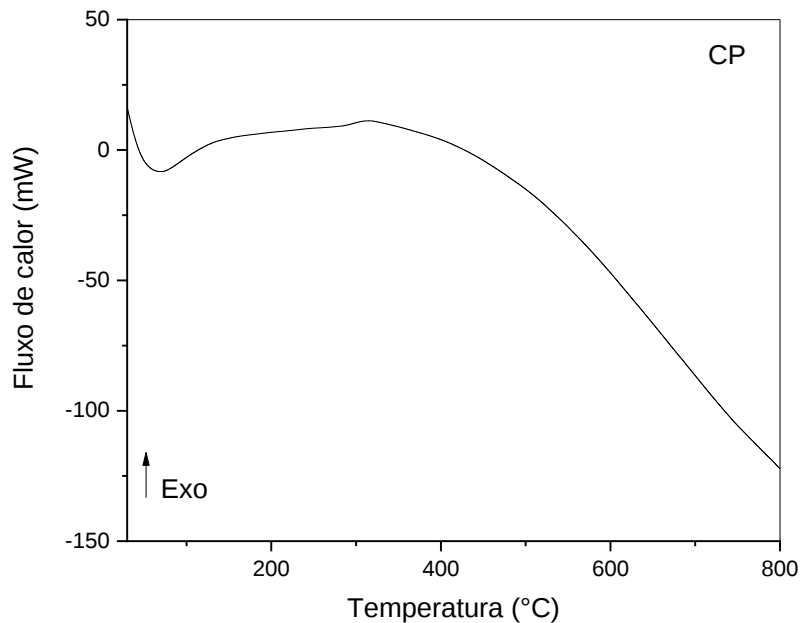
De acordo com os resultados do DSC (Figura 20) a temperatura de fusão do material foi de 69,4 °C. No trabalho de Pawar *et al.* (2012) este mesmo valor caracteriza a temperatura de transição vítrea da curcumina. Já no trabalho de Delgado *et al.* (2016), observaram um valor de temperatura de transição vítrea de 65,35 °C para a cúrcuma em pó.

Para o corante curcumina, o pico endotérmico que aparece na curva de DSC, indica a temperatura de fusão a 176°C, como relatado por Donsi *et al.* (2010). Na sequência da curva, aparece um pico exotérmico, provavelmente devido à decomposição térmica da curcumina em um pico a 260°C.

Tung *et al.* (2017), observaram que a curcumina apresentou uma temperatura de fusão em 185,04°C. Mukerjee e Vishwanatha (2009) observaram em seus resultados que, a curcumina em pó apresentou um pequeno pico endotérmico em 173°C, que foi atribuído à fusão dos cristais da curcumina.

Os resultados reportados na literatura não corroboram com os encontrados na *Curcuma longa* L. em estudo. Isso se deve provavelmente as diferenças de composição química relacionadas ao tipo de produto explorado para estudo, onde muitas vezes são submetidas à tratamentos de purificação, restando praticamente a curcumina. Nesse trabalho, o material em estudo (*Curcuma longa* L.) foi usado conforme adquirido, sem nenhum tratamento adicional, tendo em sua composição a mistura dos pigmentos curcuminoides. Além disso, o tipo de solo, cultivo e região podem alterar também as características do material.

Figura 20: Curva de DSC para cúrcuma em pó (CP)



5.2 ASPECTOS MACROSCÓPICOS

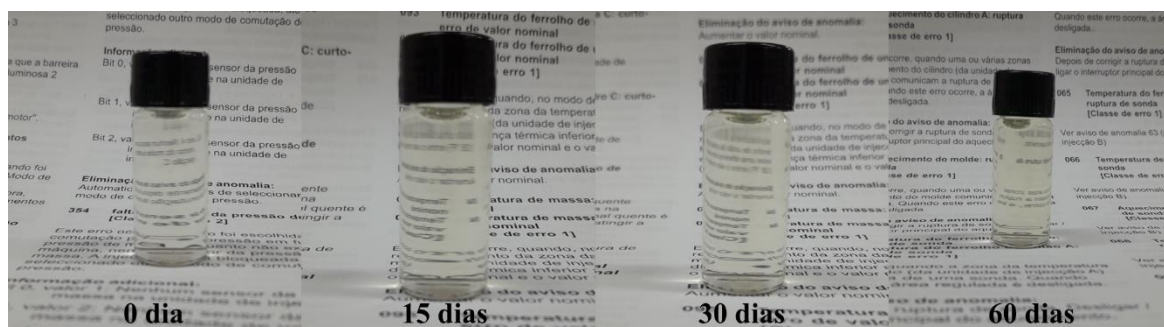
A estabilidade de uma formulação estar relacionada ao tempo no qual o produto se mantém dentro de limites especificados, mantendo as mesmas características e propriedades de quando foi formulado, durante o seu período de armazenamento (Pianovski *et al.*, 2008).

Do ponto de vista macroscópico, os revestimentos comestíveis devem apresentar algumas particularidades para se ter uma boa aceitação pelos consumidores. Fatores como aderência suficiente para não serem destacados no manuseio, não apresentar alterações nas características visuais e organolépticas, são de fundamental importância para aplicação (Assis; Britto, 2014).

Para tanto, estudo de estabilidade das formulações de extratos de cúrcuma, solução de quitosana e suas misturas com extratos, foi realizado mediante avaliação visual no período de 60 dias, considerando aspectos como cor, separação de fases, sedimentação, precipitação do polímero etc.. Vale destacar que todas essas amostras foram armazenadas em tubos de vidro, fechados com tampa, recobertos com papel alumínio para evitar o contato direto com a luz e guardados em armários de metal sem iluminação direta durante todo o tempo de análise. O aspecto visual das formulações sem e com quitosana está apresentado nas Figuras 21 e 22.

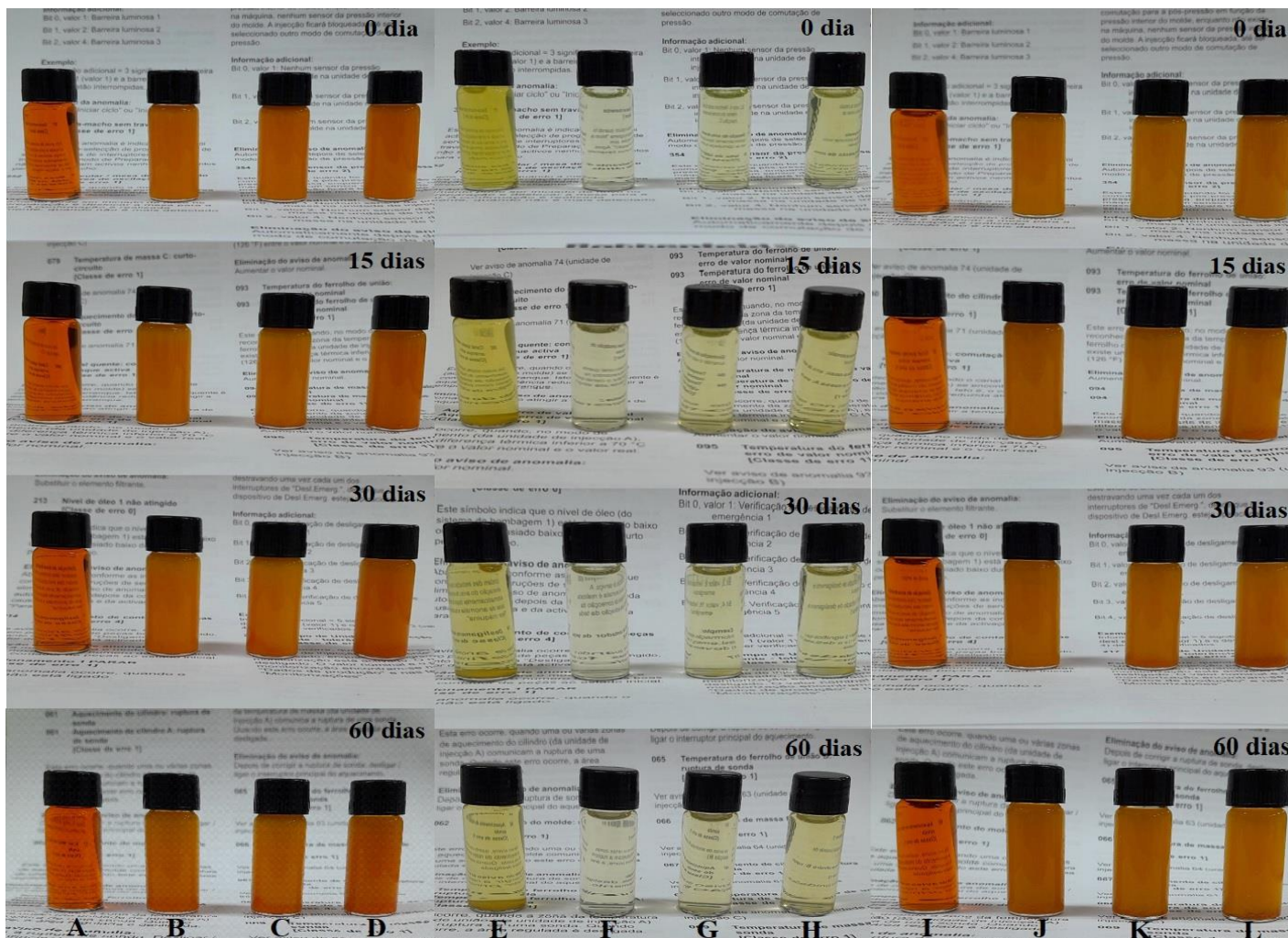
Analisando a Figura 21, é possível verificar que a solução de quitosana se apresenta incolor e transparente à luz visível. Essa coloração é atribuída ao tipo de quitosana usada nessa pesquisa ser de Grau Médico, aplicação para área de saúde, contendo o mínimo de resíduos insolúveis presentes e se apresentando incolor desde o processo de preparação. É importante destacar que as formulações não apresentaram nenhum indício de precipitação do polímero, nesse intervalo de tempo. As formulações se mantiveram estáveis ao longo dos 60 dias.

Figura 21: Aspecto visual de QBase ao longo do tempo



Na Figura 22 é possível avaliar o aspecto visual dos extratos de cúrcuma e das suas misturas em diferentes proporções com a solução de quitosana.

Figura 22: Aspecto macroscópico dos extratos e de suas misturas com a solução de quitosana, sendo: A: ExEt; B: Q16ExEt; C: Q28ExEt; D: Q37ExEt; E: ExV; F: Q16ExV; G: Q28ExV; H: Q37ExV; I: ExEtV; J: Q16ExEtV; K: Q28ExEtV; L: Q37ExEtV



No dia da preparação dos extratos de cúrcuma (0 dia, Figura 22), todas as formulações se mantiveram estáveis sem indícios de decantação, separação de fases, com as partículas suspensas no meio, distribuídas de maneira uniforme e homogênea, apresentando ainda, transparência a luz visível. Os extratos e as misturas dos extratos com a quitosana apresentaram diferentes tons de cor, variando do amarelo ao laranja-avermelhado. Tal coloração é oriunda da cúrcuma desidratada empregada nessa pesquisa (Figura 9 exibida em Materiais e Métodos), caracterizada pela presença do pigmento natural curcumina, que é também excelente antioxidante (De Abreu Matos, 2007).

Essa coloração pode sofrer variação de acordo com o tipo de solvente empregado e da eficiência do processo de extração dos compostos ativos curcuminóides presentes na cúrcuma. Dentre eles, a curcumina é o curcuminóide primário e mais abundante da cúrcuma que além de conferir cor ao produto final promove ação antioxidante; composto natural para o qual a maioria dos estudos são concentrados (Cecilio Filho *et al.*, 2000) sendo objeto de investigação também nessa pesquisa.

A literatura reporta que a curcumina sofre efeito solvatoacrômico, já que ao modificar a polaridade do solvente existe uma alteração no comprimento de onda de máxima absorção ($\lambda_{\text{máx}}$) da curcumina, sendo esta vermelha em metanol e amarela em diclorometano (Jasim; Ali, 1989). Comportamento semelhante foi observado no presente trabalho.

Para os solventes etanol e (etanol+vinagre), observa-se semelhança na coloração dos extratos obtidos e das misturas dos extratos com a quitosana. Destaca-se nesse caso, especificamente, que ao misturar os extratos com a quitosana, as formulações tornaram-se opacas, podendo estar associada a uma possível reação dos constituintes presentes nas formulações (etanol e etanol+vinagre usados na extração da cúrcuma e do ácido acético presente na solução de quitosana). Por outro lado, usando só o vinagre, verifica-se tons de amarelo claro e transparência a luz visível. E à medida que esse extrato foi misturado à solução de quitosana, essa coloração foi se tornando praticamente incolor, transparente, se aproximando do aspecto visual da solução de quitosana pura (Figura 21) à medida que o teor de extrato na formulação foi diminuído (Q16ExV – Figura 22F).

A tonalidade quanto mais forte/intensa nas formulações, indica provavelmente a eficiência do tipo de solvente na extração dos bioativos curcuminóides assim como do método de extração empregado, sugerindo que o etanol tenha executado papel fundamental nesse processo. E que o método usado tem sido eficiente no processo de

extração, especialmente, quando o solvente etanol puro ou na mistura (etanol+vinagre) foi usado na extração da cúrcuma.

Leandro e Tormen (2019) ao investigarem as propriedades do extrato de açafrão da terra com os solventes acetona, etanol, metanol e hexano, concluíram que quanto maior a polaridade do solvente, maior a afinidade com os compostos extraídos (fenólicos). Dessa forma, a melhor extração dos pigmentos curcuminóides aconteceu com o metanol e o etanol.

Braga *et al.* (2003) compararam o rendimento, composição e atividade antioxidante de extratos de cúrcuma obtidos usando os solventes etanol e álcool isopropílico. Os resultados mostraram que o maior rendimento (27% em massa) foi obtido na extração por Soxhlet (cúrcuma:etanol 1:100 m/v) e o menor rendimento foi detectado no processo de hidrodestilação (2,1% em massa).

Na Tabela 9, as formulações podem ser melhor analisadas levando em conta suas características macroscópicas.

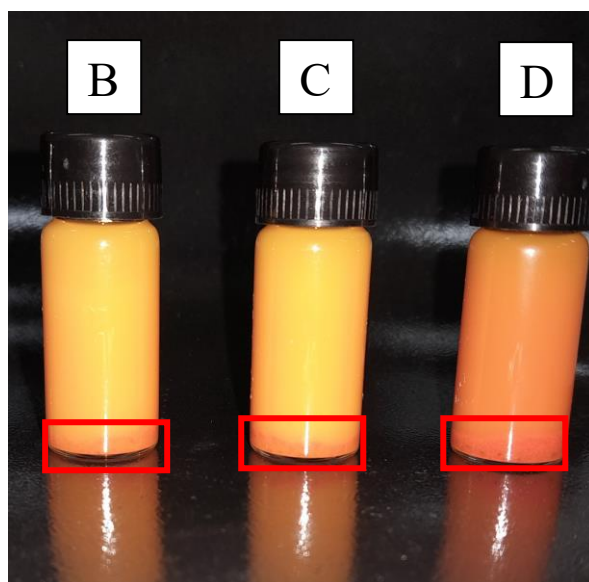
Tabela 9: Características macroscópicas no dia da preparação (0 dia)

Identificação	Cor	Propriedade ópticas	Aspecto macroscópico
QBase	Incolor	Transparente	Homogênea
ExEt	Laranja-avermelhado	Transparente	Homogênea
ExV	Amarelo	Transparente	Homogênea
ExEtV	Laranja-avermelhado	Transparente	Homogênea
Q16ExEt	Amarelo alaranjado	Opaca	Homogênea
Q28ExEt	Amarelo alaranjado	Opaca	Homogênea
Q37ExEt	Amarelo alaranjado	Opaca	Homogênea
Q16ExV	Amarelo claro	Transparente	Homogênea
Q28ExV	Amarelo claro	Transparente	Homogênea
Q37ExV	Amarelo claro	Transparente	Homogênea
Q16ExEtV	Amarelo alaranjado	Opaca	Homogênea
Q28ExEtV	Amarelo alaranjado	Opaca	Homogênea
Q37ExEtV	Amarelo alaranjado	Opaca	Homogênea

Na Figura 22, observa-se que os extratos etanólico, vinagre e etanólico:vinagre (A, E e I), se mantiveram estáveis ao longo do tempo, não havendo mudança de coloração perceptível, nem precipitação da cúrcuma ao longo dos 60 dias de análise.

As misturas com 16, 28 e 37% de extrato de cúrcuma em vinagre (F, G, H), apresentaram estabilidade quanto ao aspecto macroscópico. Todas essas formulações apresentaram transparência, ausência de precipitado e mantiveram a coloração ao longo dos 60 dias. Já as misturas com 16, 28 e 37% de extrato etanólico de cúrcuma, exibiram precipitados a partir de 15 dias. Com 60 dias, a quantidade de precipitado foi se intensificando para a formulação com 37% de extrato, como pode ser visualizado na Figura 23.

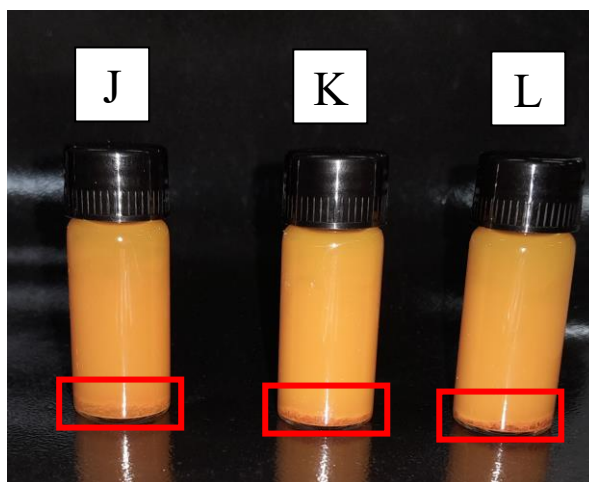
Figura 23: Sedimentação das formulações com extrato etanólico no período de 60 dias de análise, sendo B: Q16ExEt; C: Q28ExEt; D: Q37ExEt



As formulações com 16, 28 e 37% de extrato etanólico:vinagre, apresentaram as mesmas características das amostras com extrato etanólico. A partir de 15 dias, foi visualizada a formação de precipitados, aparentemente mais espessos, com partículas maiores do que as apresentadas com o extrato etanólico. Essa diferença deve-se possivelmente a mistura dos solventes etanol e vinagre usados no processo de extração. Ao analisar comparativamente ambas as formulações, é possível perceber ainda que a quantidade de precipitado é maior nas misturas com ExEt do que nas misturas com ExEtV. Esse comportamento pode ser justificado devido a presença do vinagre na formulação, que provavelmente interage de forma mais eficiente com a solução de quitosana que tem

como solvente o ácido acético usado na sua preparação. Na Figura 24 é mostrada a formação de precipitados no período de 60 dias.

Figura 24: Sedimentação das formulações com extrato etanólico:vinagre no período de 60 dias de análise, sendo J: Q16ExEtV; K: Q28ExEtV; L: Q37ExEtV



O ensaio macroscópico, de maneira geral, apresentou boa estabilidade das formulações até 30 dias de análise, com exceção das amostras com o extrato de vinagre que se mantiveram estáveis nos 60 dias. As misturas formadas pela solução de quitosana com os outros extratos (ExEt, ExEtV) exibiram instabilidade apenas com 60 dias, devido a sedimentação que cada formulação apresentou.

Todos os extratos de cúrcuma mostraram estabilidade em função do tempo de análise, apresentando constância nos parâmetros cor e homogeneidade. Segundo Pereira e Stringheta (1998), o etanol é um ótimo solvente para extração dos curcuminóides da *Curcuma longa* L., devido a característica polar do solvente que tem afinidade com os compostos extraídos (fenólicos). É possível perceber também que a extração dos pigmentos com o etanol foi a opção de extração mais eficiente; já a extração com o vinagre, não teve tanto desprendimento dos pigmentos curcuminóides comparado com a extração realizada com etanol, esses resultados são confirmados com as análises de FTIR e UV-Vis.

A partir dessa análise macroscópica, foi possível inferir que a estabilidade das formulações em função do tempo pode ser um fator importante de avaliação das características físicas e físico-químicas do material que relaciona diretamente a qualidade do produto a ser usado no revestimento de frutas. Dentre os solventes usados, o etanol foi a opção de extração mais eficiente. Ao contrário do vinagre que não favoreceu de forma

satisfatória ao desprendimento dos pigmentos curcuminoides. A solução de quitosana ao ser misturada com os diferentes tipos de extratos, promoveu maior viscosidade e aderência as formulações; características essas, importantes quando se trata de revestimentos.

5.3 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

O potencial hidrogeniônico se refere a concentração de íon H^+ livres e em equilíbrio ou dissociados na solução, sendo expresso como $pH = -\log [H]^+$ (De Sousa, 2010). Essa medida serve para indicar quando a solução é ácida, neutra ou básica. A partir desses valores é possível correlacionar com a atividade antimicrobiana, pois cada microrganismo tem um valor ótimo de pH para o crescimento, por exemplo, os acidófilos apresentam crescimento ótimo em pH abaixo de 7, os mesófilos tem crescimento ótimo em pH em torno de 7 e os alcalófilos possuem crescimento ótimo em pH acima de 7 (Nicolau, 2014).

Na Tabela 10, é possível observar o efeito do pH na solução de quitosana e nos extratos de cúrcuma ao longo de 60 dias. QBase apresentou valores de pH ácido, e mostrou uma tendência de pequeno aumento no seu valor, que é condizente com a natureza catiônica da quitosana em meio ácido, cuja concentração de íons H^+ presentes, irão resultar em valores mais baixos de pH (Smith *et al.*, 2017). Os extratos também apresentaram valores de pH ácido. O extrato etanólico de cúrcuma, exibiu valores levemente ácidos e uma tendência de aumento gradual até 60 dias, variando de 5,10 a 6,61. O extrato de vinagre apresentou valores de pH mais ácido do que os exibidos pelo etanólico (3,50 a 3,86). Isso se deve possivelmente a presença do grupo funcional carboxila ($-COOH$) no vinagre que confere maior polaridade (acidez) em relação ao grupo hidroxila ($-OH$) presente no etanol. O vinagre utilizado apresentava 4% de acidez volátil conforme informações do fabricante.

O extrato etanólico:vinagre, registrou valores de pH intermediários aos exibidos pelos extratos etanólico e de vinagre, na faixa de 4,62 a 4,95, também considerados ácidos. É evidente que esses valores sofreram influência da presença do vinagre na formulação. Ambos os extratos (ExV e ExEtV) apresentaram um discreto aumento nos valores de pH até 15 dias, seguida de uma pequena diminuição com 30 dias. Logo depois, voltou a aumentar conforme registrado no tempo de 60 dias de análises. Essas alterações podem ser consequências de possíveis reações químicas de oxidação

Tabela 10: Valores de pH da solução de quitosana e dos extratos de cúrcuma

Tempo (Dias)	QBase	ExEt	ExV	ExEtV
0	3,60	5,10	3,70	4,72
15	3,90	5,85	3,77	4,82
30	3,97	6,05	3,50	4,62
60	3,95	6,61	3,86	4,95

A Tabela 11 apresenta os valores de pH para as misturas de quitosana contendo 16, 28 e 37% dos três diferentes extratos. Todas as misturas apresentaram pH's mais ácidos, e conforme foram aumentadas as quantidades de extratos na mistura com a solução de quitosana, um pequeno aumento nos valores de pH foi registrado para todas as formulações no dia da preparação (0 dia). Para as misturas com o extrato etanólico independente da concentração, o pH teve um aumento discreto e gradual com o passar dos dias. Já para as misturas com os extratos de vinagre e etanólico:vinagre foi possível observar um aumento nos valores de pH até 15 dias, seguidos de discreta diminuição no tempo de 30 dias e, tendência de aumento nesses valores com 60 dias. Esse comportamento foi similar ao exibido nas formulações contendo só os extratos (Tabela 10).

No geral, é possível observar que os valores de pH para todas as formulações quitosana:extratos (Tabela 11) apresentaram certa diminuição em relação aos valores exibidos pelos extratos puros (Tabela 10), com exceção das misturas contendo extratos de vinagre que apresentaram discretos aumentos nos valores de pH quando comparados com seu respectivo extrato em função do tempo. Isso se deve possivelmente a protonação dos grupos amino da quitosana, que por estarem livres tendem a diminuir os valores de pH conferindo um caráter mais ácido às formulações. As formulações QExEt nas diferentes concentrações sofreram maior efeito na redução do seu pH, ficando mais ácidas.

A medida de pH para soluções de quitosana requer uma atenção especial, tendo em vista que dependendo do seu valor, pode ocorrer alteração dos grupamentos amino e da capacidade de solvatação do polissacarídeo (Felipini; Di Piero, 2009). Os grupos amino presentes em toda a extensão da cadeia polimérica atuam como polieletrólitos catiônicos em $\text{pH} < 6,5$. Dessa forma, este biopolímero pode se dissolver facilmente em soluções de ácidos fracos diluídos. Por outro lado, com o pH acima de 6,5, os

grupamentos amino se tornam desprotonados e o polímero perde suas cargas, tornando-se insolúvel (Dash *et al.*, 2011). Já a *Curcuma longa* L., é estável em pH ácido, em meio neutro ou alcalino apresenta instabilidade sofrendo rápida degradação hidrolítica (Carvalho, 2022). O etanol possui pH entre 6,0 e 8,0 e condutividade abaixo de 350 $\mu\text{S}/\text{m}$ (Skinner; Leathers, 2004). Já a quitosana a 2% m/v, segundo Messa *et al.* (2016) o pH fica em torno de 3,2. Resultado semelhante foi obtido nesse trabalho.

Tabela 11: Valores de pH das misturas de quitosana com extratos de cúrcuma

Tempo (Dias)	Q16 ExEt	Q28 ExEt	Q37 ExEt	Q16 ExV	Q28 ExV	Q37 ExV	Q16 ExEtV	Q28 ExEtV	Q37 ExEtV
0	3,20	3,26	3,36	3,65	3,68	3,74	3,89	3,91	4,08
15	3,91	3,81	3,90	4,00	3,85	3,85	3,94	4,14	4,23
30	3,93	3,92	3,97	3,60	3,62	3,69	3,90	3,90	4,01
60	4,05	4,24	4,44	4,12	4,05	4,03	4,22	4,24	4,36

O pH e a acidez dos alimentos são fatores determinantes para a multiplicação dos microrganismos, a maioria deles multiplicam-se em pH próximo à neutralidade (6,6 a 7,5) (Jay *et al.*, 2008). Cada microrganismo possui um pH diferente para seu crescimento, por exemplo, a *Campylobacter jejuni* exibe multiplicação mínima em pH de 4,9, de 6,5-7,5 apresenta ótima proliferação e em 9,5 a multiplicação é máxima. A *Escherichia coli* exibe multiplicação num pH variando de 4,4 a 9,5. A *Listeria monocytogenes*, apresenta crescimento mínimo no pH de 4,3, ótimo de 7,0 a 7,5 e no pH de 9,6, a proliferação é máxima. A *Staphylococcus aureus*, apresenta crescimento mínimo em pH 4,0, ótimo de 6,0 a 7,0 e no pH 9,8 a proliferação é máxima. (Pompeu *et al.*, 2013). O *Candida albicans*, tem sua proliferação favorecida em pH ácido, sendo que a faixa ideal varia de 2,5 até 7,5 (Naves *et al.*, 2013).

A maioria das frutas e hortaliças *in natura* estão sujeitas à esporulação de microrganismos a uma taxa que depende de vários fatores, intrínsecos ou extrínsecos. De acordo com o pH, os alimentos podem ser classificados como alimentos de baixa acidez (pH superior a 4,5), alimentos ácidos (pH entre 4,0 e 4,5) e alimentos muito ácidos (pH inferior a 4,0), restringindo o crescimento de patogênicos (Bastos, 2006).

Quando se avalia o efeito do pH de um produto sobre o crescimento microbiano, é fundamental o conhecimento da influência do tipo de ácido presente no alimento. Frutas ricas em ácido cítrico, fosfórico ou tartárico permitem crescimento de microrganismos

em valores de pH mais baixo do que aquelas acidificadas com ácido acético ou láctico. Assim, os alimentos de baixa acidez são os mais propícios à multiplicação microbiana e, portanto, à deterioração (Franco; Landgraf, 2008). Em se tratando de uvas, por exemplo, os ácidos orgânicos presentes em maior quantidade são os tartáricos e málicos, responsáveis por mais de 90% da acidez total (Guerra *et al.*, 1992).

A uva é uma fruta com pH mínimo de 2,9, conforme estabelecido pela Instrução Normativa N° 14, de 08 de Fevereiro de 2018 (Brasil, 2018). A acidez encontrada nos frutos proporciona estabilidade ao produto, dificultando a proliferação de microrganismos durante o armazenamento (De Souza Barbosa *et al.*, 2014). A Uva-Vitória usada para investigação nesse trabalho, tem cor pouco intensa e é bastante aromática. Apresenta em sua composição pouco tanino e potencial alcoólico baixo, assim como pouco corpo e uma acidez variando de média para alta.

Através dos dados analisados nas Tabelas 10 e 11, é possível supor que a solução polimérica Qbase e o extrato ExV (Tabela 10) assim como as formulações contendo quitosana e extratos na concentração de 37% v/v (Q37ExEt, Q37ExV), até 30 dias de análise, devido apresentarem valores de pH < 4,0, pudessem exibir maior resistência a proliferação de microrganismos na Uva-Vitória quando revestidas. ExEt, ExEtV e Q37ExEtV possuem maior probabilidade de contaminação a partir do 0 dia de revestimento por possuírem pH > 4,0, já Q16ExEt, Q28ExEt, Q37ExEt, Q28ExV, Q37ExV, Q16ExEtV apresentam pH acima de 4 a partir de 60 dias, e Q16ExV e Q28ExEtV apresentam pH acima de 4 no período de 15 dias, diminuição com 30 dias e aumento acima de 4 no 60° dia, acarretando em maior probabilidade de proliferação de bactérias (Jay *et al.*, 2008).

É importante considerar que o pH é um fator que pode influenciar o ataque por microrganismos. Porém por si só, não irá determinar a maior proteção de barreira nos filmes comestíveis. Além do pH, fatores como coesão, textura, aderência, ação antioxidante e antimicrobiana e outros pontos que serão discutidos no Item Revestimento das Uvas-Vitória podem ser cruciais para compor essa barreira protegendo mais o alimento de ataques microbianos assim como prolongando mais o tempo de prateleira do produto final.

5.4 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica mede a capacidade que uma amostra possui em transportar uma corrente elétrica. Este parâmetro não determina especificamente quais íons estão presentes em determinada amostra, mesmo assim pode contribuir para possíveis reconhecimentos para fins biológicos (Da Costa Santos *et al.*, 2023).

Os valores de condutividade elétrica para QBase e os diferentes extratos, estão mostrados na Tabela 12. A condutividade da solução de quitosana apresentou valor muito superior ao obtido para os extratos. Esse valor apresentou um leve aumento até 30 dias. No tempo de 60 dias, observou-se uma ligeira redução na condutividade que pode estar associada aos grupos funcionais presentes na estrutura da quitosana como grupos hidroxila, acetamido e amino, que podem atuar como doadores de elétrons (Salman *et al.*, 2018). Quando os grupos aminos livres da quitosana são protonados, formam íons hidróxidos, liberando íons OH^- que se movem livremente atribuindo uma corrente iônica (Wan *et al.*, 2003).

O extrato de vinagre apresentou baixo valor de condutividade (4,06-4,32 $\mu\text{S/m}$), mostrando-se estável até 15 dias, um aumento no tempo de 30 dias e uma redução no seu valor em 60 dias. Esse resultado era previsto já que o solvente utilizado é um ácido que possui baixo grau de ionização, portanto a concentração de íons é baixa gerando soluções pouco concentradas em íons, sendo assim, pouco condutoras (Dos Santos *et al.*, 2019). Por outro lado, a condutividade elétrica do extrato etanólico foi superior à obtida pelo extrato de vinagre, registrando valores na faixa de 12,94 a 13,80 $\mu\text{S/m}$. Esses valores são consequências do uso do etanol como solvente, que possui condutividade elétrica máxima de até 350 $\mu\text{S/m}$, conforme especificado pela NR 10547 (ABNT, 2013). ExEt apresentou discreto aumento da condutividade até 30 dias e, discreta redução no tempo de 60 dias possivelmente pela evaporação do solvente nesse período de tempo.

Aumento considerável no valor de condutividade foi registrada para o extrato contendo a mistura de solventes (ExEtV), cujo valor foi superior a 1.080 $\mu\text{S/m}$. Esse valor sofreu aumento gradual até 30 dias e, discreta diminuição no tempo de 60 dias, implicando numa possível floculação como observado no aspecto macroscópico. Tal comportamento pode ser atribuído ao maior número de cargas elétricas na formulação, oriundas da mistura de 2 tipos de solventes (etanol+vinagre), promovendo uma maior ionização, capaz de aumentar o transporte de eletricidade.

Tabela 12: Condutividade ($\mu\text{S/m}$) da solução de quitosana e dos extratos de cúrcuma

Tempo	QBase	ExEt	ExV	ExEtV
0	2.445	13,41	4,27	1.084
15	2.454	13,46	4,27	1.121
30	2.498	13,80	4,32	1.152
60	2.386	12,94	4,06	1.143

Na Tabela 13 estão especificados os valores de condutividade elétrica para as misturas quitosana:extratos. A condutividade elétrica para todas as formulações aumentou ligeiramente com a adição da quitosana. Isso acontece devido a protonação dos grupos amino presentes na quitosana em meio ácido, que conduz a um aumento significativo de cargas superficiais (Wan *et al.*, 2003).

Ao analisar as misturas com os extratos, etanólico e etanólico:vinagre, é possível observar que ambas apresentaram certa diminuição da condutividade em função da concentração de extrato. No entanto, vale ressaltar que o extrato etanólico:vinagre mesmo apresentando essa tendência, exibiram valores de condutividade superiores aos obtidos pelo extrato etanólico. No geral, seus valores exibiram aumento gradual até 30 dias, seguidos de discreta diminuição no tempo de 60 dias. Similar tendência tem sido observada para as misturas à base de extrato etanólico.

As misturas de quitosana:extrato de vinagre apresentaram comportamentos distintos das demais formulações, cujos valores de condutividade foram superiores a 2400 $\mu\text{S/m}$. À medida que a concentração de extrato de vinagre foi acrescentada na formulação de quitosana, aumentos nos valores de condutividade elétrica foram observados. Aumentos nesses valores também foram verificados em função do tempo (30 dias). Queda significativa na condutividade foi registrada no tempo de 60 dias.

Por fim, pode-se inferir que todas as formulações exibiram um aumento da quantidade de cargas livres no meio, que tem relação direta com a adição da quitosana, que em meio ácido diluído, apresenta característica catiônica, promovendo a protonação dos grupos amino (NH_3^+), facilitando o transporte de cargas elétricas (Wan *et al.*, 2003). Aliada a presença da quitosana, observou-se também que as formulações contendo o vinagre como solvente de extração (ExV e ExEtV) apresentaram os maiores valores de condutividade, especialmente, as misturas quitosana:ExV para todas as concentrações estudadas, exibiram condutividades maiores do que os exibidos pela Qbase. Esse efeito

pode ser atribuído possivelmente, a presença do vinagre que contém em sua composição o ácido acético, solvente usado na solubilização da quitosana, tenha promovido a geração de mais cargas catiônicas nas formulações, aumentando sua condutividade em função do aumento da concentração do respectivo extrato.

Tal evento pode estar relacionado também com os grupos fenólicos presentes na estrutura da *Curcuma longa* L. que interagem com a solução de quitosana, possibilitando uma elevação considerável da condutividade em relação aos extratos puros. Os grupos fenólicos quando se ionizam, tornam o meio com maior quantidade de íons livres, e consequentemente, geram uma maior condutividade elétrica (Da Costa Santos *et al.*, 2023).

Tabela 13: Condutividade ($\mu\text{S/m}$) das misturas extrato de cúrcuma e quitosana

Tempo	Q16 ExEt	Q28 ExEt	Q37 ExEt	Q16 ExV	Q28 ExV	Q37 ExV	Q16 ExEtV	Q28 ExEtV	Q37 ExEtV
0	1.116	650	452	2.616	2.798	2.940	1.841	1.564	1.435
15	1.200	720	478	2.642	2.820	2.935	1.981	1.692	1.526
30	1.266	744	487	2.636	2.851	2.968	2.069	1.774	1.576
60	1.271	728	480	2.476	2.619	2.805	2.055	1.722	1.548

O Brasil não possui uma legislação específica para filmes e revestimentos comestíveis, mas eles podem ser classificados como ingrediente quando melhoram a qualidade nutricional do alimento ou aditivo, quando não contribuem no valor nutricional (Villadiego *et al.*, 2005). A RDC N°8, de 06 de março de 2013 (Brasil, 2013) dispõe sobre aprovação do uso de aditivos alimentares para produtos de frutas e de vegetais autorizados para uso segundo as boas práticas de fabricação, o limite para o uso da cúrcuma na preparação de frutas e/ou sementes (incluindo coberturas e recheios) para uso em outros produtos alimentícios, é de 0,015 g/100g, os limites de pH e condutividade não são abordados na legislação, no entanto o controle destes parâmetros são de suma importância na conservação dos produtos pois a alteração deles podem favorecer mudanças na microbiologia do alimento, já que o desenvolvimento da acidez do alimento está ligado a elevação do valor da condutividade elétrica e a alteração do pH a valores maiores que 4, favorecem o crescimento de alguns microrganismos.

5.5 ESPALHAMENTO DINÂMICO DA LUZ (EDL) E POTENCIAL ZETA

O Espalhamento Dinâmico de Luz (EDL), é amplamente utilizado para a avaliação das dimensões de partículas em suspensão. A partir da observação do padrão de flutuação da intensidade da luz espalhada, em um determinado ângulo, em um volume fixo iluminado, é possível identificar o tamanho das partículas da solução e sua polidispersividade (Garcia *et al.*, 2021). A técnica consiste em utilizar uma fonte de luz, como um Laser, e iluminar uma partícula que irá espalhar luz em todas as direções, daí serão analisadas as flutuações de intensidade da luz espalhada em um determinado ângulo (Nomura *et al.*, 2014).

O índice de polidispersividade (PDI) é um parâmetro usado para avaliar o tamanho e a distribuição de nanopartículas. Este valor varia de 0 a 1 e, quanto menor, mais monodisperso e, conseqüentemente, mais homogêneas serão as nanopartículas (Garcia *et al.*, 2021). Valores de PDI inferiores a 0,5 indicam uniformidade e homogeneidade do tamanho das partículas em um sistema. Além disso, o diâmetro médio das partículas pode significativamente ser reduzido quando submetido a um tratamento de sonicação, podendo assim conduzir a valores de PDI também reduzidos (Karimi *et al.*, 2019).

A Tabela 14 mostra os valores do diâmetro médio efetivo e do índice de polidispersividade das formulações. Observa-se que, todas as amostras, exceto ExV e Q16ExEtV, possuem índice de polidispersividade menores que 0,5, caracterizando uniformidade e tamanho de partículas semelhantes no sistema. A amostra de ExV apresentou um PDI levemente superior a 0,5, cujo valor foi de 0,543, estando possivelmente relacionado à baixa solubilidade da cúrcuma no vinagre, indicando que a amostra é mais propensa a formação de aglomerados. Comportamento semelhante também foi apresentado para a amostra Q16ExEtV, que apresentou PDI de 0,669. Este valor pode estar associado a uma maior quantidade de quitosana (facilmente diluída em ácidos fracos diluídos) que precisou ser diluída na mistura de solventes etanol:vinagre para a análise, e possivelmente essa mistura de solventes não proporcionou boa diluição, acarretando em uma baixa solubilidade da formulação.

Segundo Cho *et al.* (2013), são consideradas nanopartículas aquelas que possuem tamanho entre 10 à 1000 nm, logo, os extratos aqui apresentados, e as formulações Q37ExEt, Q16ExV, Q28ExV e Q37ExV, são considerados sistemas nanoparticulados.

As formulações que possuem extrato etanólico de cúrcuma, apresentaram tamanho reduzido de diâmetro médio efetivo conforme a adição do extrato. Em geral, quanto maior a concentração da amostra, maior é a probabilidade de ocorrer agregação

de partículas, o que pode levar a uma superestimação do tamanho médio das partículas e aumento da polidispersidade (Souza, 2023), o que não ocorreu com essas formulações (Q16ExEt, Q28ExEt e Q37ExEt), porém as misturas com o extrato ExEtV apresentaram valores de diâmetros médios maiores conforme a adição do extrato, estando de acordo com Souza (2023). Esse valor reduzido no diâmetro médio de partículas das formulações de quitosana contendo extrato etanólico estar associado possivelmente a eficiência do solvente na extração dos bioativos existentes na cúrcuma, evidenciado pelo diâmetro médio do ExEt como observado na Tabela 14.

Kim *et al.* (2017) desenvolveram nanoemulsões de extrato etanólico de cúrcuma e incorporaram em presunto enlatado. A extração da cúrcuma foi feita por imersão do pó em etanol a 50% em temperatura ambiente por 24 h. As gotículas de nanoemulsão de cúrcuma (TE-NE) exibiram pequeno diâmetro (165 nm), baixo PDI (0,17) justificado pelo uso de emulsificantes proteicos como a lectina e a proteína do soro isolada, resultando em gotículas menores do que aquelas obtidas com outros estabilizantes. Obtiveram também, um potencial Zeta de -31,80mV, indicando estabilidade da formulação, características consideradas desejáveis em nanoemulsões pelos autores.

Massimino (2016), em seu trabalho, analisou o diâmetro médio efetivo e o índice de polidispersividade da curcumina em meio ISCOVE'S no tempo de 0h e 24h e em meio aquoso, na concentração de 0,8 mg/mL. A análise de tamanho de partículas para a curcumina em meio aquoso foi de $814,6 \pm 180,5$ nm e um PDI de $0,89 \pm 0,14$. Já em meio ISCOVE'S em 0h foi de $128 \pm 50,1$ nm e PDI de $0,71 \pm 0,10$, após 24h a análise de tamanho de partículas foi de $181,4 \pm 87,3$ nm e PDI de $0,55 \pm 0,16$. O autor concluiu que, as nanopartículas são menores em meio de cultura do que em meio aquoso. Essa redução do tamanho das partículas deve-se a presença do soluto ISCOVE'S que é composto por diversas substâncias, entre elas, partículas que são menores do que as nanopartículas de curcumina. Após 24 horas, as partículas apresentam aumento em relação ao tempo de 0h devido a interação da amostra com as substâncias presentes no meio de cultura.

Tabela 14: Valores de diâmetro médio de partículas e índice de polidispersividade

Amostra	Diâmetro médio de partícula (nm)	Índice de polidispersividade
QBase	1.632,45±147,78	0,439±0,040
ExEt	123,18±1,319	0,116±0,024
ExV	838,79±70,71	0,543±0,021
ExEtV	392,54±14,95	0,125±0,009
Q16ExEt	1.447,32±109,08	0,290±0,049
Q28ExEt	1.352,21±143,53	0,097±0,021
Q37ExEt	956,74±114,14	0,161±0,051
Q16ExV	460,74±54,93	0,354±0,094
Q28ExV	628,94±16,94	0,420±0,024
Q37ExV	589,11±71,31	0,361±0,022
Q16ExEtV	1.216,70±125,62	0,669±0,656
Q28ExEtV	1.270,22±37,57	0,248±0,055
Q37ExEtV	1.277,93±52,24	0,193±0,015

O potencial Zeta é uma medida de intensidade da repulsão ou atração eletrostática, sendo um dos parâmetros que medem o equilíbrio das nanopartículas. O sistema adquire estabilidade quando as nanopartículas formadas permanecem em suspensão e não se agregam para a formação de partículas maiores e quando em contato com o solvente, adquirem cargas elétricas em sua superfície, gerando um potencial denominado Potencial Zeta (Garcia *et al.*, 2021).

As medições são baseadas nos princípios de dispersão da luz. É a medida da diferença de potencial elétrico entre o plano de cisalhamento da superfície das partículas e um ponto distante na solução. Esse valor dá um indicativo sobre a estabilidade de dispersões coloidais, quanto maior o valor do Zeta, mais estável será o coloide, a velocidade de formação dos agregados aumenta à medida que o Zeta se aproxima de zero. A técnica consiste em colocar uma amostra em uma câmara contendo dois eletrodos e um campo elétrico é aplicado, fazendo com que as nanopartículas carregadas migrem para o eletrodo correspondente com uma velocidade proporcional ao seu potencial Zeta (Smith *et al.*, 2017). Quando o valor do Potencial Zeta for menor que -30mV ou maior que +30mV, as partículas se repelem, não existindo a tendência de flocular. Dessa forma, o sistema é considerado estável (Garcia *et al.*, 2021).

A Tabela 15, apresenta os valores de potencial Zeta da solução de quitosana, dos extratos de cúrcuma e das formulações extrato:quitosana. De acordo com os resultados, todas as formulações contendo solução de quitosana, exceto Q37ExV, apresentaram potencial Zeta com valores maiores que +30mV, sendo possível observar a grande influência da quitosana no equilíbrio e estabilidade das nanopartículas. Segundo Santos *et al.* (2021), o valor do potencial Zeta da quitosana e de suas formulações, é justificado pelo fato da quitosana possuir uma estrutura cristalina rígida em virtude das ligações inter e intramoleculares com o hidrogênio, e que, devido a repulsão de carga eletrostática entre as cadeias, as moléculas de quitosana em soluções aquosas, apresentam conformação estendida com cadeias mais flexíveis.

Os extratos de cúrcuma, independente do solvente, apresentaram baixos valores de potencial Zeta, demonstrando instabilidade no meio. Estes valores corroboram com o estudo apresentado por Massimino (2016), que obteve o valor de 0,2mV de potencial Zeta para o extrato aquoso de curcumina. Este mesmo autor analisou o potencial Zeta no meio ISCOVE'S com 0h e 24h, e os resultados mostraram valores variando de -7 a -0,4mV, respectivamente. Esses valores são justificados devido a interação que ocorre entre as nanopartículas, que originalmente possuem cargas negativas, com substâncias presentes no meio.

A formulação Q37ExV, apresentou valor de potencial Zeta inferior a +30mV conforme Tabela 14. Esse valor pode estar relacionado provavelmente, a maior concentração do ExV na mistura à base de quitosana, tendo em vista, que o extrato apresentou valor de potencial muito baixo. Tal comportamento pode estar associado ao tipo de solvente (vinagre) não favorecer numa boa solubilização da cúrcuma, podendo contribuir numa tendência de floculação das partículas na formulação, indicando instabilidade.

Tabela 15: Medidas de potencial Zeta

Amostra	Potencial Zeta (mV)
QBase	33,70±1,92
ExEt	-19,79±0,89
ExV	-1,17±0,88
ExEtV	9,03±1,27
Q16ExEt	55,11±0,47
Q28ExEt	54,87±0,14
Q37ExEt	50,20±1,00
Q16ExV	30,19±1,19
Q28ExV	31,71±2,23
Q37ExV	22,32±1,69
Q16ExEtV	54,88±1,07
Q28ExEtV	48,68±0,58
Q37ExEtV	51,70±1,84

No trabalho de Santos *et al.* (2021) avaliaram e caracterizaram biofilmes de carboximetilcelulose contendo nanopartículas de quitosana e *Curcuma longa* L.. Os resultados mostram que a estabilidade das nanopartículas, determinada pela análise de potencial Zeta, apresentaram valor de aproximadamente de +30 mV. Além de estáveis, as nanopartículas de quitosana apresentaram um tamanho médio de 110 nm. Valor atribuído a concentração de tripolifosfato de sódio utilizada durante a síntese.

Karimi *et al.* (2019) analisaram nanolipossoma carregado com extrato de cúrcuma como potencial nanocarreador antioxidante e antimicrobiano para aplicações alimentícias. Os resultados de EDL, PDI e potencial Zeta mostraram que o diâmetro médio das nanolipossomas carregados com extrato de cúrcuma foi de 92 nm, o PDI foi de 0,40, indicando uniformidade e homogeneidade do tamanho das partículas no sistema e o potencial Zeta foi de -11,2±0,1mV como resultado dos grupos ativos de fosfolipídios utilizados na produção das nanolipossomas. Observaram ainda que o potencial Zeta superior a 30 mV indicam estabilidade de sistemas lipossomais devido à alta repulsão eletrostática entre as partículas.

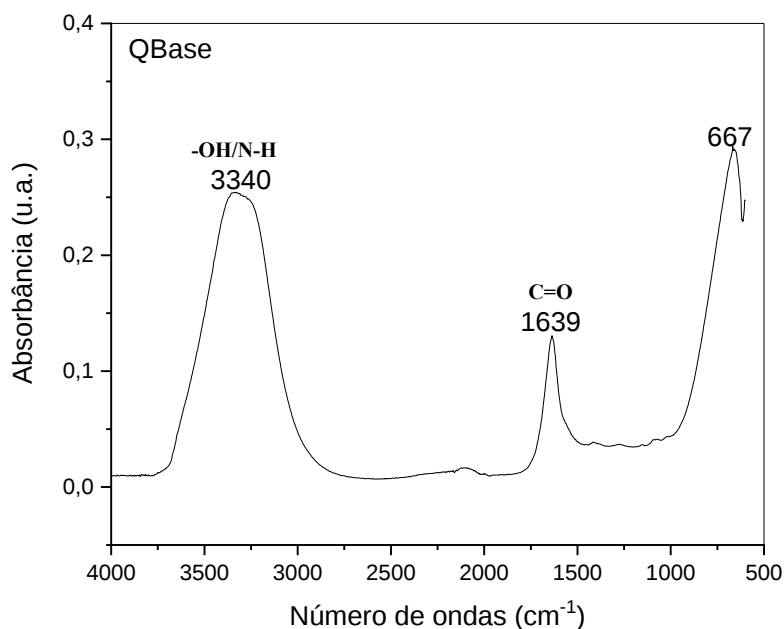
Park *et al.* (2019), avaliaram a estabilidade de nanoemulsões de extrato de cúrcuma em pó aplicado em leite. Os resultados mostraram que a nanoemulsão do extrato de cúrcuma em pó apresentou certa estabilidade no período de 21 dias na temperatura de

4°C, o potencial Zeta foi de -21mV e o EDL foi de 280nm. Já a mistura da nanoemulsão com o leite, exibiu valores de potencial Zeta que diminuíram ao longo do tempo, resultando em um sistema instável, gerando aglomerados, conforme foi revelado pelo aumento do diâmetro das gotas. Essa diminuição foi justificada devido a carga positiva das proteínas do leite.

5.6 ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

No espectro de FTIR da solução de quitosana (QBase) (Figura 25), é possível observar uma banda em 3340 cm^{-1} correspondente as vibrações de estiramento axial do grupo -OH que aparece sobreposta a banda de estiramento N-H, indicando a formação de uma ligação intermolecular. A banda em 1639 cm^{-1} , refere-se à deformação axial do grupo C=O da amida. Já em 667 cm^{-1} , tem-se uma banda pertencente a estrutura do polissacarídeo. As bandas encontradas nesse espectro são semelhantes as observadas na literatura (Fráguas *et al.*, 2015).

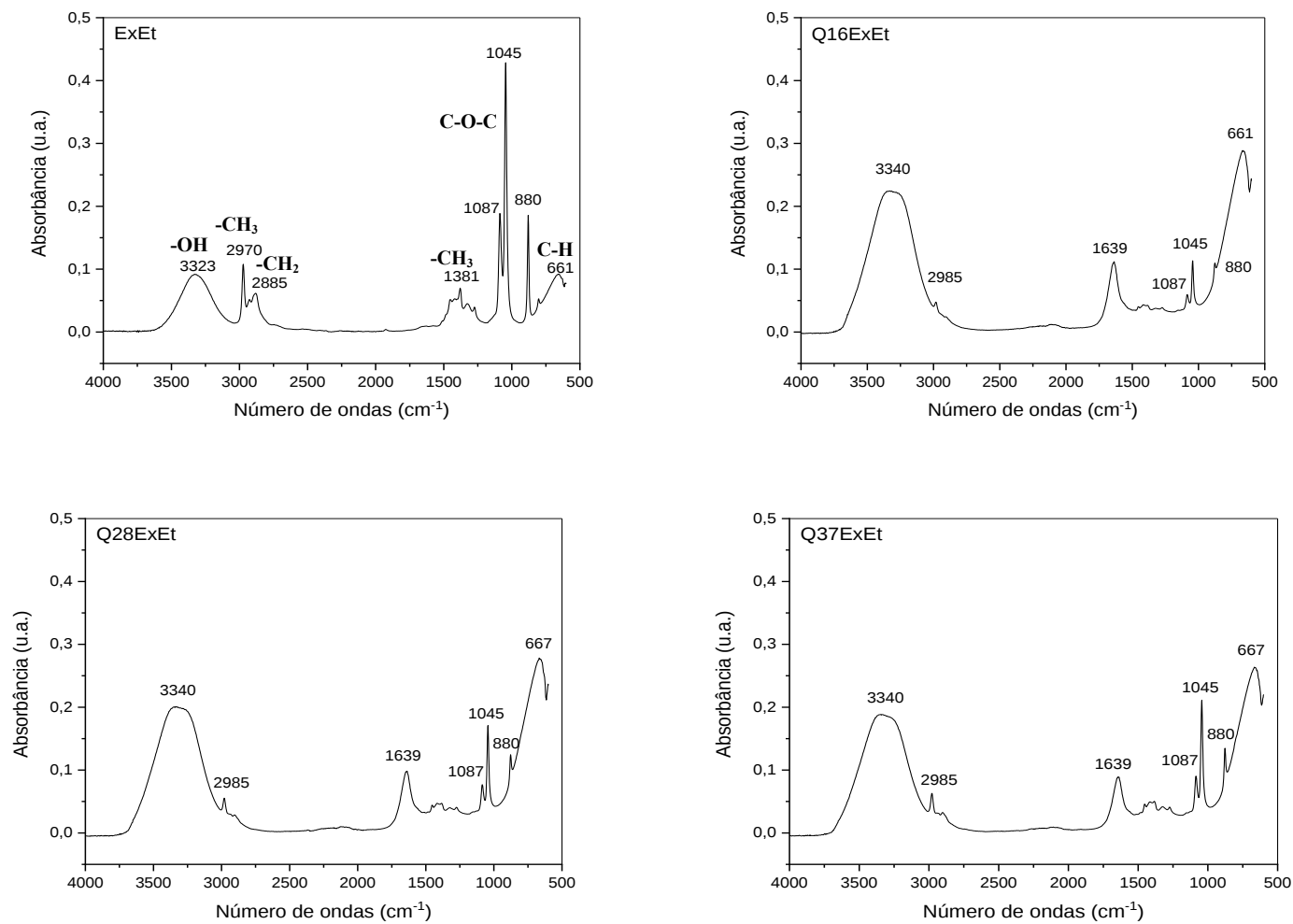
Figura 25: Espectro de FTIR de QBase



Os espectros do extrato etanólico de cúrcuma (ExEt) e das misturas de quitosana com o extrato etanólico nas diferentes proporções estão apresentados na Figura 26. Para o ExEt, a banda em 3323 cm^{-1} corresponde a vibração de alongamento da ligação -OH,

em 2970 cm^{-1} é referente ao alongamento assimétrico do $-\text{CH}_3$ (Rohman *et al.*, 2015), em 2885 cm^{-1} corresponde ao alongamento do grupo $-\text{CH}_2$, a banda em 1381 cm^{-1} pertence a flexão do $-\text{CH}_3$. As bandas observadas em 1087 cm^{-1} e 1045 cm^{-1} se correlacionam com a vibração de flexão C-O-C, que são comumente observadas no grupo metoxi ($-\text{OCH}_3$) presentes em compostos aromáticos (Pangesti; Masruri, 2020). Já em 880 cm^{-1} se refere ao alongamento do grupo C-O-C e em 661 cm^{-1} é relativo à vibração da ligação C-H.

Figura 26: Espectros de FTIR de ExEt, Q16ExEt, Q28ExEt e Q37ExEt



A partir dos espectros de FTIR para as misturas Q16ExEt, Q28ExEt e Q37ExEt (Figura 26), é possível observar a presença de bandas de absorção características dos materiais presentes nas formulações. As bandas em 3340 cm^{-1} , 1639 cm^{-1} e $661\text{-}667\text{ cm}^{-1}$ são semelhantes às apresentadas no espectro da QBase (Figura 25) e, caracteriza a presença da quitosana em todas as misturas. Ao observar esses mesmos espectros, verifica-se que o ExEt apresenta uma banda de absorção em 2970 cm^{-1} , que ao ser misturada com a formulação de quitosana, sofre deslocamento para 2985 cm^{-1} , caracterizada pela fraca interação dos grupos -CH_3 , cuja intensidade é maior à medida que a proporção de extrato foi aumentada na mistura. As bandas em 1087 , 1045 , 880 e 661 cm^{-1} , também são semelhantes às apresentadas no espectro do extrato etanólico. Verifica-se também que a intensidade dessas bandas vai aumentando conforme a quantidade de extrato na formulação de quitosana.

Na Figura 27, estão exibidos os espectros para o extrato de cúrcuma em vinagre (ExV) e para as misturas de quitosana com o extrato de vinagre nas diferentes proporções Q16ExV, Q28ExV e Q37ExV. Para o extrato, a banda em 3336 cm^{-1} corresponde a vibração de alongamento da ligação -OH , a banda em 1637 cm^{-1} é referente as vibrações de estiramento da ligação C=O . Em 1394 e 1278 cm^{-1} , correspondem as vibrações de estiramento da ligação C-O . Já a banda em 667 cm^{-1} , refere-se à vibração da ligação C-H .

Nas misturas Q16ExV, Q28ExV e Q37ExV, observa-se a presença de apenas três bandas de absorção (em torno de 3336 , 1637 e 667 cm^{-1}), que são semelhantes às apresentadas nos espectros do extrato de cúrcuma em vinagre e da solução de quitosana, sugerindo a presença de ambos os componentes nas formulações.

A Figura 28, mostra os espectros para o extrato de cúrcuma em vinagre e etanol (ExEtV) e suas misturas Q16ExEtV, Q28ExEtV e Q37ExEtV. Para o extrato, a banda em 3354 cm^{-1} é referente a deformação axial do grupo -OH . Em 2976 cm^{-1} corresponde ao alongamento assimétrico do -CH_3 , em 1637 cm^{-1} é referente as vibrações de estiramento da ligação C=O e, em 1512 cm^{-1} se refere a vibração de flexão do anel de benzeno. As absorções em 1381 e 1274 cm^{-1} , correspondem as vibrações de estiramento da ligação C-O , em 1085 e 1043 cm^{-1} se correlacionam com a vibração de flexão C-O-C . Já em 877 cm^{-1} , se refere ao alongamento do grupo C-O-C e, em 667 cm^{-1} é relativo à vibração da ligação C-H .

A banda presente no ExEtV em 3354 cm^{-1} , sofre deslocamento nas misturas Q16ExEtV, Q28ExEtV e Q37ExEtV para 3330 , 3340 e 3330 cm^{-1} , respectivamente,

caracterizando uma interação intermolecular ligeiramente mais forte dos grupos -OH, presentes tanto no extrato quanto na quitosana. As bandas em 2976, 1637, 1085, 1043, 877 e 667 cm^{-1} apareceram em todas as misturas, sendo semelhantes às observadas no espectro do extrato ExEtV e caracterizam também a presença da quitosana nas formulações.

Figura 27: Espectros de FTIR de ExV, Q16ExV, Q28ExV e Q37ExV

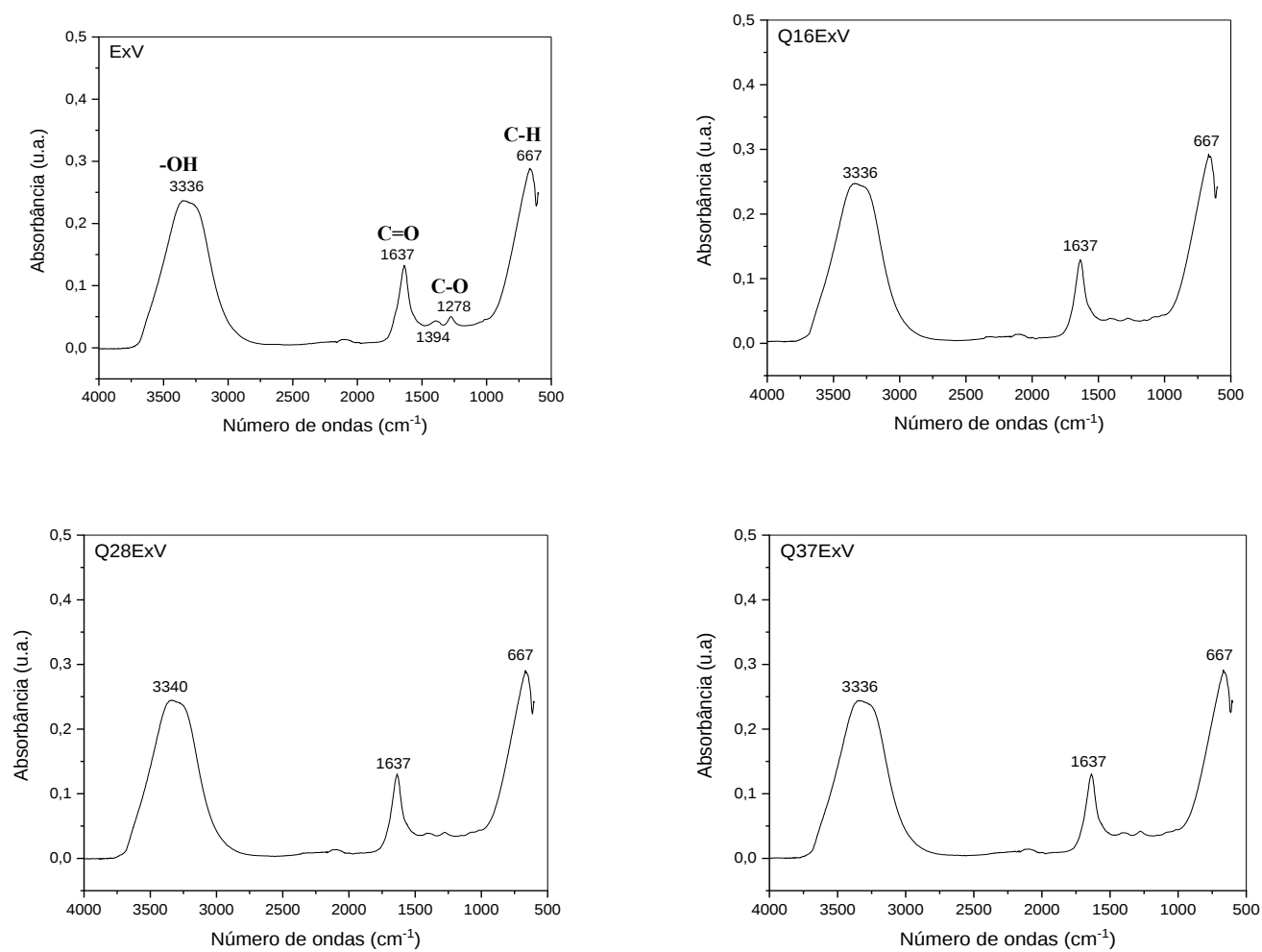
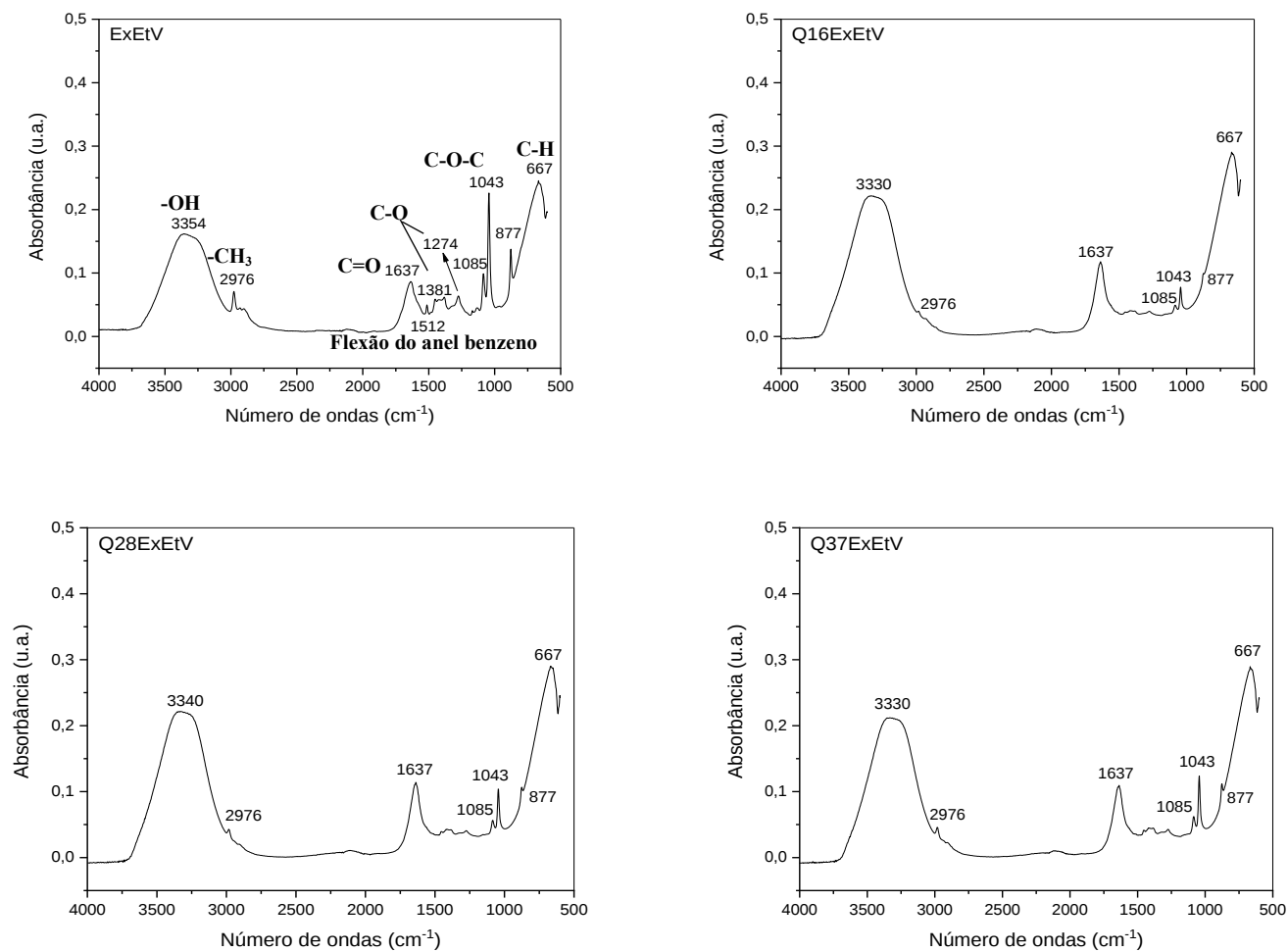


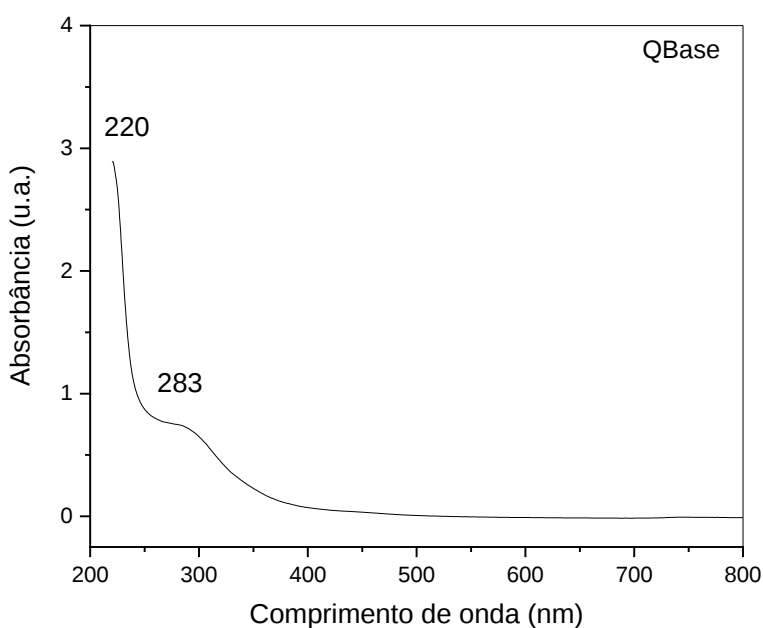
Figura 28: Espectros de FTIR de ExEtV, Q16ExEtV, Q28ExEtV e Q37ExEtV



5.7 ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO MOLECULAR NA REGIÃO DO ULTRAVIOLETA - VISÍVEL (UV-VIS)

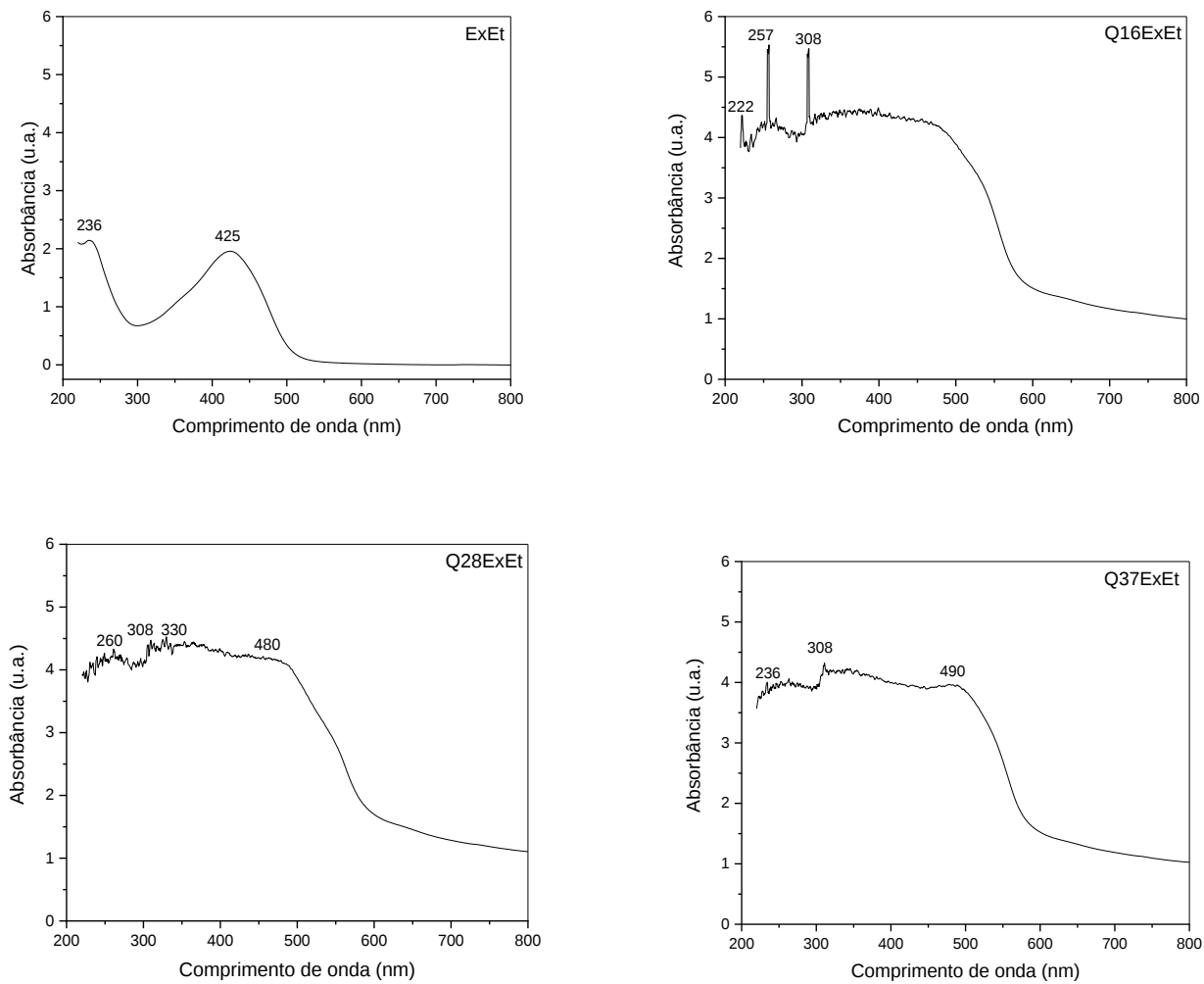
O espectro na região do ultravioleta-visível para a solução de quitosana a 2% (m/v) (QBase), pode ser observado na Figura 29. O espectro apresentou apenas uma banda de ampla absorção em 283 nm que pode estar relacionada ao grupo CO (Vaezifar *et al.*, 2013).

Figura 29: Espectro de UV-Vis de QBase



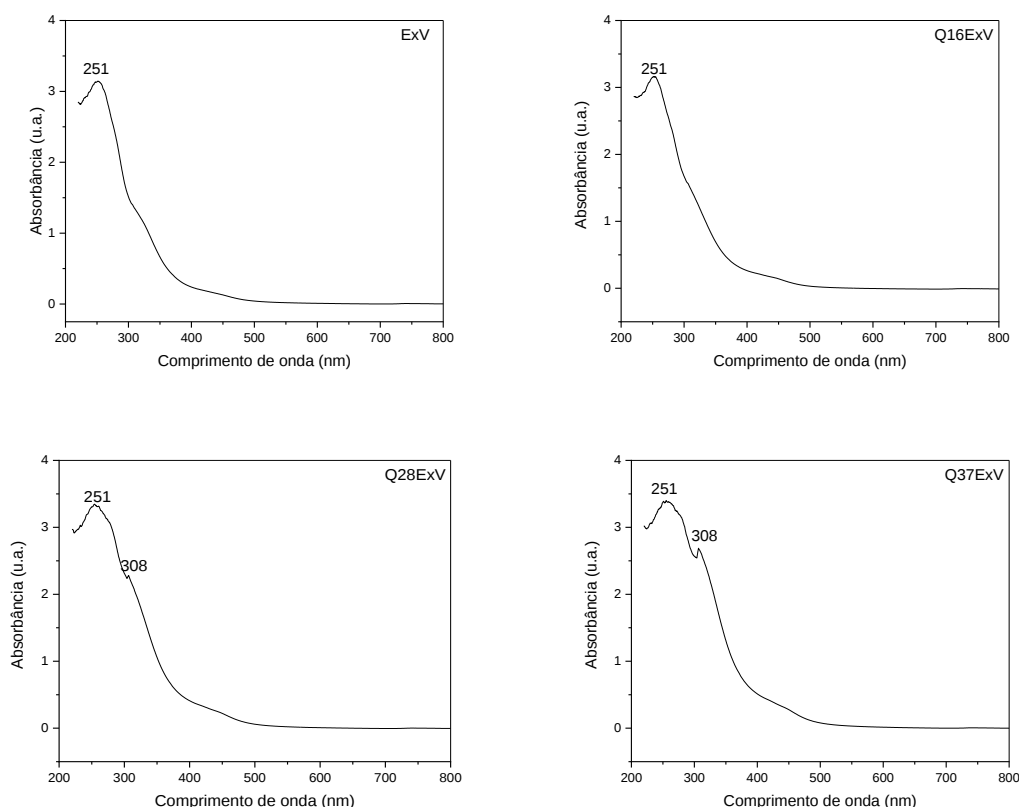
A Figura 30 mostra os espectros de UV-Vis do extrato etanólico de cúrcuma e de suas misturas com a solução de quitosana. O espectro ExEt, apresenta uma banda em 236 nm e outra em 425 nm. Segundo Jannah *et al.* (2018), bandas na faixa de 200-350nm estão associadas aos compostos aromáticos e outros cromóforos, como hidroxila e carbonila. Já na faixa de 350-500 nm, refere-se as transições que indicam à presença de grandes quantidades de curcuminóides como principais compostos metabólicos secundários presentes na *Curcuma longa* L. Tal perfil também explica o aparecimento das bandas presentes nas misturas Q16ExEt, Q28ExEt e Q37ExEt.

Figura 30: Espectros de UV-Vis de ExEt, Q16ExEt, Q28ExEt e Q37ExEt



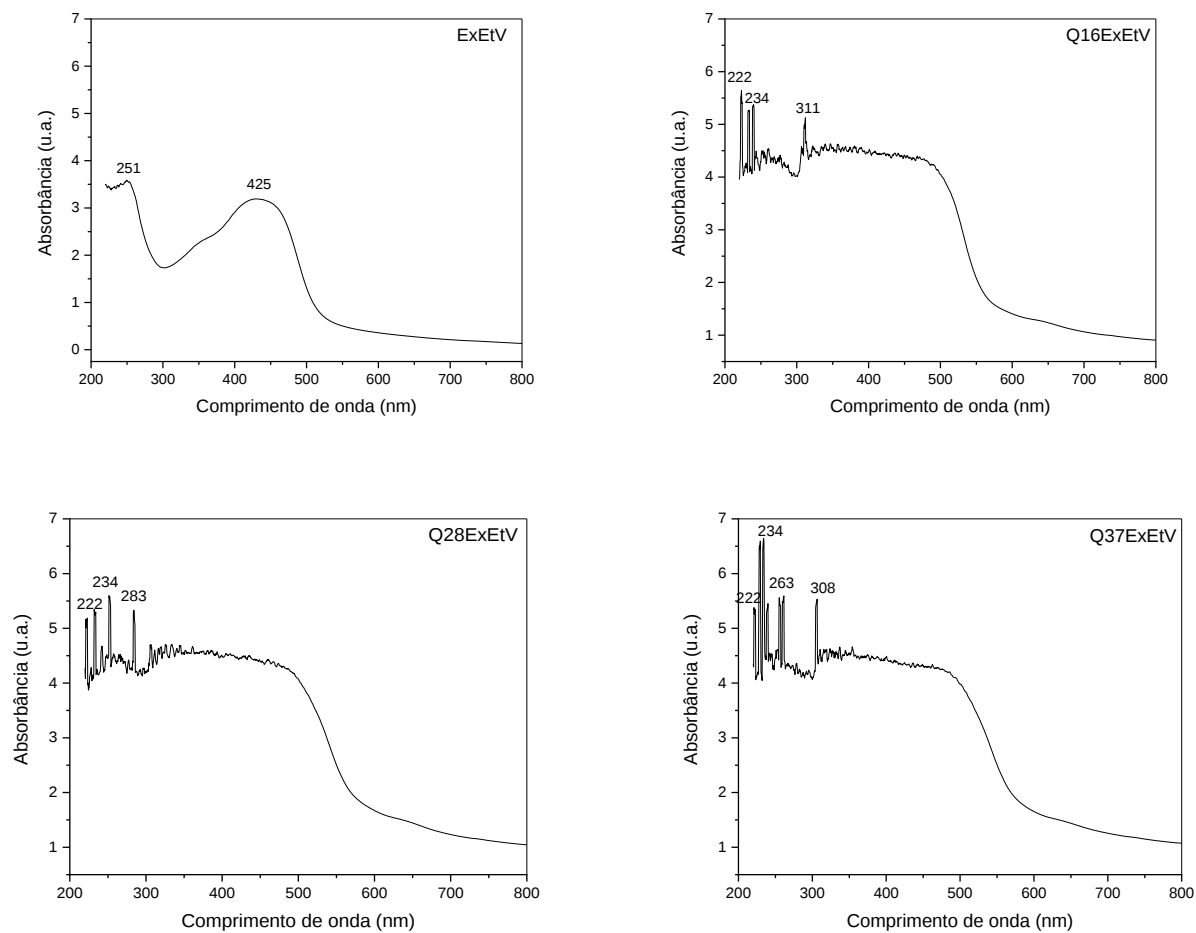
A Figura 31 exibe os espectros de UV-Vis do extrato de cúrcuma em vinagre e suas misturas com a solução de quitosana. Tanto o extrato quanto as misturas Q16ExV, Q28ExV e Q37ExV apresentam uma banda em 251 nm, possivelmente associada aos compostos aromáticos, hidroxila e/ou carbonila. Uma discreta banda em 308 nm aparece nas misturas Q28ExV e Q37ExV, que também está ligada aos compostos aromáticos (Jannah *et al.*, 2018).

Figura 31: Espectros de UV-Vis de ExV, Q16ExV, Q28ExV e Q37ExV



A Figura 32, apresenta os espectros de UV-Vis para o extrato de cúrcuma em vinagre e etanol e suas misturas com a solução de quitosana. As bandas que aparecem no espectro ExEtV, são semelhantes as observadas no ExEt, e obedecem o mesmo princípio citado por Jannah *et al.* (2018), como reportado anteriormente.

Figura 32: Espectros de UV-Vis de ExEtV, Q16ExEtV, Q28ExEtV e Q37ExEtV



Segundo Dos Santos e Leite (2023), a curcumina apresenta banda de absorção entre 350 e 480 nm, dependendo do meio e das condições de extração. Dessa forma, pode-se concluir que a banda em 425 nm, correspondente a curcumina foi evidenciada com maior clareza nos extratos à base de etanol (ExEt e ExEtV).

As misturas Q16ExEtV, Q28ExEtV e Q37ExEtV, apresentam bandas semelhantes em 222 e 234 nm, além de outras diferentes bandas, e o extrato ExEtV, exibe uma banda em 251nm, estas bandas na faixa de 200-350nm estão associadas aos compostos aromáticos e outros cromóforos, como hidroxila e carbonila (Jannah *et al.*, 2018).

De acordo com Dyrssen *et al.* (1972), a absorção máxima referente à curcumina pode variar, dependendo do solvente e da faixa de pH. Comportamento similar tem sido observado nesse estudo ao se trabalhar com diferentes tipos de solventes.

5.8 ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

Nesse estudo, os extratos de *Curcuma longa* L., a solução de quitosana e as misturas quitosana:extratos a 37% foram avaliados utilizando o método da microdiluição (Devianne; Raddi, 2002). A Tabela 16 apresenta o percentual de redução de células obtida na análise para as bactérias *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 13150, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25783 e para o fungo *Candida albicans* ATCC 76645.

Tabela 16: Percentual de redução de células expostas às formulações

Formulações	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 13150	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 25783	<i>Candida albicans</i> ATCC 76645
QBase	96,20±0,01	91,20±0,03	97,93±0,01	103,27±0,01*
ExEt	29,40±0,02	74,07±0,07	100,47±0,00*	99,27±0,00
ExV	84,20±0,05	97,87±0,01	96,20±0,01	98,80±0,00
ExEtV	98,80±0,00	87,60±0,04	Não inibiu	115,47±0,41*
Q37ExEt	93,93±0,02	83,27±0,05	84,53±0,04	84,33±0,05
Q37ExV	93,87±0,02	92,27±0,02	89,53±0,03	94,60±0,02
Q37ExEtV	106,33±0,02*	93,20±0,02	98,40±0,00	101,13±0,00*

*Valores acima de 99,9% representam atividade biocida (KILVINGTON *et al.*, 2013).

A *Escherichia coli* pertencente à família Enterobacteriaceae, é uma bactéria Gram-negativa que pode estar presente nos alimentos através da contaminação do solo ou da água de irrigação (Gonçalves *et al.*, 2002), indicando contaminação fecal por ser encontrada em grande quantidade no trato gastrointestinal do homem e animais, não sendo isolada normalmente em outros nichos (Oliveira *et al.*, 2006). A Instrução Normativa de número 60, estabelece os limites desta bactéria nos alimentos (Brasil, 2019).

Staphylococcus aureus é uma bactéria Gram-positiva que pode causar intoxicação alimentar e é mais frequente na mucosa nasal. A partir da cavidade nasal que o microrganismo atinge a epiderme, ar, água, solo, ou qualquer outro objeto que entre em contato com o indivíduo (Silva *et al.*, 2017).

Pseudomonas aeruginosa é uma bactéria Gram-negativa amplamente encontrada na natureza, podendo fazer parte da microbiota normal de indivíduos saudáveis, sendo um patógeno importante pela resistência intrínseca a inúmeros antimicrobianos (Contrucci *et al.*, 2019). É uma bactéria deteriorante e patogênica comumente encontrada no ambiente e estabelecimentos processadores de alimentos, podem contaminar frutas, vegetais, vegetais fermentados, laticínios, bebidas de fruta, carne, peixe e ovos (Lianou *et al.*, 2016).

Candida albicans, tem capacidade patogênica, sendo o sistema imune um importante regulador desta resposta. Está presente naturalmente no organismo sem causar infecção ou sintomas, de forma comensal, e coloniza a cavidade oral, o trato gastrointestinal e reprodutivo. Sob certas circunstâncias, pode causar infecções que variam entre superfícies da pele a sistêmicas com o comprometimento de risco de vida (Silva; Barros, 2020).

A partir da Tabela 16, pode-se observar a resposta dos microrganismos em contato com as formulações. A QBase apresentou ação antimicrobiana com inibição superior a 91% para todas as cepas em estudo. Para a *Candida albicans* ATCC 76645, essa formulação foi bastante ativa, exibindo ação biocida. Esses resultados corroboram com os reportados na literatura, descritos abaixo.

Segundo Kim *et al.* (1997), a quitosana apresenta atividade antimicrobiana para as bactérias *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidemis* e *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumonia* e *Proteus vulgaris*. A atividade da quitosana contra algumas bactérias e fungos, segundo Shi *et al.* (2006), se dá por meio da interação dos grupos amino protonados das unidades glicosamina com os

componentes negativos das paredes celulares das bactérias, que levam a suspensão da biossíntese. Fernandez-Saiz *et al.* (2009) sugeriram que a atividade antimicrobiana da quitosana contra bactérias Gram-positivas é devida às interações eletrostáticas que ocorrem entre o esqueleto do ácido teicóico na parede celular e as moléculas de quitosana. A ação biocida frente a *Candida albicans*, confirma o que já havia sido observado por Ramos e Forte (2015), em seus estudos, comprovando o caráter fungicida da quitosana.

A formulação ExEt, foi mais ativa para *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25783 e *Candida albicans* ATCC 76645. Não houve efeito inibitório contra *Escherichia coli* ATCC 25922, diferente do que foi observado para a formulação Q37ExEt, mostrando que a presença da solução de quitosana teve papel importante nesse resultado. Essa formulação apresentou ação biocida contra a cepa *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25783. Por outro lado, a formulação ExV, apresentou inibição para todas as linhagens, sendo mais ativa, especialmente contra *Candida albicans* ATCC 76645, *Staphylococcus aureus* ATCC 13150 e *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25783, respectivamente, conforme resultado exposto na Tabela 16. A formulação Q37ExV apresentou inibição contra todas as cepas em estudo, porém não promoveu efeito biocida.

A formulação ExEtV, apresentou maior atividade contra as cepas *Candida albicans* ATCC 76645 e *Escherichia coli* ATCC 25922, registrando inibição acima de 98%. Para a *Candida albicans*, esse extrato apresentou também ação biocida. Por outro lado, não demonstrou ação inibitória para *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25783, indicando um aumento de $41,47 \pm 0,01\%$ da população celular. Ao incorporar esse extrato na solução de quitosana (Q37ExEtV), observou-se que essa formulação foi mais ativa para todas as linhagens aqui estudadas, quando comparadas com as demais formulações contendo só extratos (ExEt e ExV) e quitosana:extratos (Q37ExEt e Q37ExV), registrando inibição superior a 93%. Além disso, destaque especial é dada a essa formulação, devido apresentar ação biocida contra duas cepas, *Escherichia coli* ATCC 25922 e *Candida albicans* ATCC 76645. Nesse caso em específico, sugere-se talvez uma ação sinérgica dos componentes envolvidos na formulação, tendo em vista os resultados de inibição terem sido superiores aos apresentados pela Qbase e ExEtV, conferindo ao produto final potencial de atividade antimicrobiana.

Observando ainda a tabela 16, considerando o percentual de redução frente as bactérias, é possível notar que as formulações foram mais ativas contra as Gram-negativas (efeito biocida) do que a bactéria Gram-positiva. Dentre as bactérias Gram-negativas, a *Escherichia coli* se mostrou mais sensível do que a *Pseudomonas aeruginosa*.

Gul e Bakht (2015) investigaram a ação de diferentes extratos de cúrcuma preparados com os solventes n-hexano, água, clorofórmio e etanol a fim de identificar atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*, *Salmonella Typhi* e *Escherichia coli* pelo método de difusão em disco. Os resultados mostraram que as amostras de cúrcuma extraídas com água inibiram o crescimento de *Escherichia coli* e *Salmonella Typhi*. As amostras extraídas com metanol foram eficazes para controlar o crescimento de todos os microrganismos em estudo. Já os extratos de clorofórmio e n-hexano mostraram fraca atividade contra todos os microrganismos testados.

Kalaycioğlu *et al.* (2017) investigaram as propriedades antimicrobianas e físicas de filmes de quitosana incorporados com extrato de açafrão contra *Salmonella Typhi* e *Staphylococcus aureus* pela técnica de placa de Ágar. Os resultados mostraram que os filmes de quitosana incorporado com extrato etanólico de cúrcuma reduziram as contagens de *Staphylococcus aureus* e *Salmonella Typhi* significativamente, em comparação com o filme de quitosana pura durante um período de exposição de 3 h. Afirmaram ainda que, as propriedades antibacterianas dos filmes comestíveis de quitosana incorporadas ao extrato etanólico de cúrcuma podem estar relacionadas com a presença principalmente de curcuminóides e, também de terpenóides.

Dansai e Krusong (2011b) estudaram o efeito do extrato etanólico de açafrão, vinagre e sua mistura, frente a *Salmonella Typhimurium* (ST) *in vitro*. Com os resultados, verificaram que houve 100% de redução após 30 min de contato do extrato etanólico com o microrganismo. Por outro lado, a mistura do extrato de cúrcuma (0,05mg/mL) com o vinagre (1,7%v/v) apresentou 100% de inibição para a ST no tempo de 10 min.

De maneira geral, é possível constatar, dentre os três extratos analisados, que o ExV mostrou melhor atividade antimicrobiana frente aos microrganismos analisados, pois apesar de não exibir efeito biocida, proporcionou percentual de redução de células expostas às formulações acima de 84%. Os extratos ExEt e ExEtV, também promoveram excelentes resultados, assim como efeito biocida para certos microrganismos. Por outro lado, o ExEt não apresentou efeito inibitório contra *Escherichia coli*, assim como o ExEtV não demonstrou inibição contra *Pseudomonas aeruginosa*.

Com relação as misturas quitosana:extratos, vale destacar, que embora não tenha sido observado, valor superior a 99,9% para todas as linhagens testadas, pode-se afirmar que todas as formulações apresentaram ação antimicrobiana potencial, com especial atenção à formulação Q37ExEtV, cujos resultados foram mais relevantes, pois além de proporcionar efeito biocida para *Escherichia coli* e *Candida albicans* (microrganismos

mais sensíveis nesse estudo), apresentou inibição acima de 93% para os outros microrganismos (*Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa*), conferindo ação bactericida. As demais formulações (Q37ExEt e Q37ExV) também apresentaram resultados importantes com valores de inibição acima de 83 e 89%, respectivamente.

5.9 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

A atividade antioxidante das formulações foi determinada pelo sequestro do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil). Este ensaio se baseia na medida da atividade antioxidante de uma determinada substância em sequestrar o radical DPPH, reduzindo-o a difenil-picril-hidrazina. Quando uma substância que age como doador de átomos de hidrogênio é adicionada a uma solução de DPPH, a hidrazina é obtida com mudança simultânea na coloração de violeta para amarelo pálido (Alves *et al.*, 2010).

A Tabela 17 mostra os resultados da Atividade Antioxidante (AA) dos extratos com cinco diferentes diluições (25, 30, 35, 40 e 50 mg de extrato/3mL de solvente).

Para ExEt, é possível verificar que a atividade antioxidante máxima foi alcançada para a diluição 30mg/3mL de etanol, e a partir daí, com o aumento da quantidade de extrato, o sequestro de radicais, diminuiu. Os resultados para ExV não seguiram uma tendência de aumento ou diminuição com o acréscimo da quantidade de extrato e a maior atividade antioxidante foi atingida com 50mg de ExV/3mL de solvente. ExEtV teve um comportamento similar a ExV, porém apresentou atividade antioxidante maior quando comparado ao extrato de vinagre. A maior atividade antioxidante foi atingida para a diluição 40mg de ExEtV/3mL de solvente.

Levando em consideração a diluição de 50mg de extrato/3mL de solvente, é possível verificar que a maior atividade antioxidante foi atingida para os extratos, etanólico (ExEt – 85%) e etanólico:vinagre (ExEtV – 88%). Em toda a análise, fica evidente que o solvente etanol proporciona uma melhor diluição dos pigmentos curcuminóides, que caracteriza maior resposta na atividade antioxidante do extrato, isto corrobora com os resultados obtidos por Barankevicz (2022) que ao realizar a extração da cúrcuma em pó, o autor observou que quanto maior a concentração de etanol, maior a eficiência de extração de compostos fenólicos e maior a atividade antioxidante. Além disso, foi observado também que a agitação da mistura também influenciou no resultado.

Tabela 17: Atividade antioxidante das diferentes diluições dos extratos

Amostra	%AA
25mg ExEt	96,74810
30mg ExEt	98,12328
35mg ExEt	97,92914
40mg ExEt	97,81589
50mg ExEt	85,63873
25mg ExV	31,22472
30mg ExV	10,27342
35mg ExV	22,76331
40mg ExV	14,20482
50mg ExV	46,66395
25mg ExEtV	76,16890
30mg ExEtV	90,68112
35mg ExEtV	87,76897
40mg ExEtV	93,44766
50mg ExEtV	88,83238

As Tabelas 18 e 19 mostram os resultados das atividades antioxidantes das formulações quitosana:extratos de cúrcuma, utilizando as diluições de 35 e 50mg/3mL de solvente. Nas duas diluições é possível verificar que QBase não apresenta atividade antioxidante, mas as formulações com os extratos exibem sim esse tipo de atividade.

Para as misturas quitosana:extrato etanólico de cúrcuma, nas duas diluições, observa-se que quanto maior a quantidade de extrato, maior a atividade antioxidante. Diante disso, pode-se inferir que a formulação Q37ExEt com 50mg/3mL, apresentou a maior atividade antioxidante em relação a diluição de 35mg/3mL, que foi de 75%.

Tabela 18: Atividade antioxidante das formulações com diluição de 35mg/3mL de solvente.

Amostra	%AA
35mg QBase *	-22,16140
35mg Q16ExEt	31,53777
35mg Q28ExEt	44,72508
35mg Q37ExEt	50,06705
35mg Q16ExV	13,37729
35mg Q28ExV	11,74564
35mg Q37ExV	3,062137
35mg Q16ExEtV	32,57711
35mg Q28ExEtV	47,23961
35mg Q37ExEtV	41,99821

*Diluído em solução aquosa de ácido acético a 1% v/v

As formulações com o extrato de vinagre na diluição de 35mg/3mL, mostraram um comportamento contrário ao observado nas misturas com extrato etanólico. Nessa diluição, quanto maior a quantidade de extrato presente na formulação, menor a atividade antioxidante. Já na diluição de 50mg/3mL, a maior atividade antioxidante foi para a formulação com a maior quantidade de extrato (Q37ExV).

As misturas contendo solução de quitosana e extrato de cúrcuma com vinagre e etanol tiveram comportamentos diferentes para as duas diluições. Para 35mg/3mL, a maior atividade antioxidante foi verificada na formulação Q28ExEtV (47%), e na diluição de 50mg/3mL, a maior atividade foi observada na formulação Q37ExEtV (73%).

Tabela 19: Atividade antioxidante das formulações com diluição de 50mg/3mL de solvente.

Amostra	%CA
50mg QBase*	-47,1720
50mg Q16ExEt	29,9482
50mg Q28ExEt	41,8574
50mg Q37ExEt	75,3661
50mg Q16ExV	20,3638
50mg Q28ExV	15,6608
50mg Q37ExV	25,1830
50mg Q16ExEtV	31,5119
50mg Q28ExEtV	38,1532
50mg Q37ExEtV	73,3116

* Diluído em solução aquosa de ácido acético a 1% v/v

Bitencourt (2013) avaliou a atividade antioxidante de filmes à base de gelatina aditivados com extrato etanólico de cúrcuma e verificou que a atividade antioxidante dos filmes aumentou em função do aumento da concentração de extrato. A formulação com 200mg de extrato etanólico de cúrcuma/100g de gelatina, obteve 80% de atividade antioxidante, e o autor afirma que os resultados estão em conformidade com a concentração do composto ativo (curcumina) presente no extrato adicionado nos filmes. De forma similar Moradi *et al.* (2012), verificaram uma porcentagem de sequestro do radical DPPH em torno de 40% para filmes à base de quitosana aditivados com extrato de semente de uva.

Santos *et al.* (2021) determinaram a atividade antioxidante do produto da extração da cúrcuma comercial com acetona. A análise foi feita em triplicata utilizando o método de poder antioxidante de redução do íon ferro (FRAP) e pelo método DPPH, os resultados mostraram que a atividade antioxidante pelo método DPPH foi $23,68 \pm 1,06$ % e pelo método de FRAP foi de $10,09 \pm 0,37$ mg de quercetina equivalente por grama.

Parize (2012) desenvolveu filmes microparticulados e filmes à base de quitosana e corante natural de cúrcuma. O corante foi incorporado na matriz polimérica pela técnica de *spray drying* e os filmes foram desenvolvidos por *casting*. Os resultados mostram que, a atividade antioxidante das amostras desenvolvidas por *spray drying* estava relacionada com a concentração do corante presente na amostra, e que as amostras nas concentrações

quitosana/corante na proporção 1:1 (v/v) e 1:2 (v/v), apresentaram maior atividade antioxidante, 608,40 e 230,90 µg/mL respectivamente.

Diante do exposto, é possível observar que a maior atividade antioxidante foi atingida com o extrato etanólico de cúrcuma (ExEt) e a menor com o extrato de vinagre (ExV), e que a mistura ExEtV, apesar da presença do vinagre na formulação, apresentou valores importantes de AA. Em relação as formulações de quitosana:extratos, apesar da não existência de atividade antioxidante para QBase, é possível notar a grande influência da presença dos extratos na formulação de quitosana diante dessa resposta.

Independentemente da quantidade de amostra utilizada na análise para determinação da atividade antioxidante (35 ou 50mg), os valores de AA para as formulações contendo diferentes proporções de ExEt seguiram a tendência de aumento da atividade com o aumento da quantidade de extrato na mistura. E nos dois casos, a AA foi maior para Q37ExEt, já as formulações com os outros extratos, não seguiram essa tendência. Foi possível verificar ainda, que comparando as diluições 35 e 50 mg/3 mL, a atividade antioxidante tendeu a aumentar para todas as formulações quando a diluição é menor, isso foi visto na diluição de 50mg/3 mL comparado a diluição de 35 mg/3 mL.

5.10 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura permite visualizar através de imagens, possíveis imperfeições no material, como porosidade, separação de fase, dispersão e distribuição de um componente no outro (Vasques, 2007). A imagem representada em tons de cinza fornece informações morfológicas e topográficas necessárias para entender o comportamento dos materiais (Duarte *et al.*, 2003).

As micrografias obtidas por MEV da superfície de fratura dos filmes de quitosana 2% (m/v) e de suas diferentes formulações com extrato de cúrcuma são apresentadas na Figura 33.

Na micrografia do filme QBase, observa-se uma morfologia heterogênea, compacta, densa, apresentando aglomerados em diferentes formatos, distribuídos uniformemente ao longo da superfície de fratura do material. Esses aglomerados são oriundos possivelmente da agitação magnética e/ou do tempo de mistura usados na preparação da solução de quitosana, não terem sido suficientes para sua completa solubilização.

Filmes de quitosana pura, normalmente apresentam matriz compacta, sem defeitos e ausência de macro poros (Estevam *et al.*, 2012; Yassue-Cordeiro *et al.*, 2015).

A incorporação de diferentes composições de extratos de cúrcuma na solução QBase, resultou em mudanças na morfologia do material obtido.

As micrografias das formulações com o extrato etanólico de cúrcuma (Q16ExEt, Q28ExEt e Q37ExEt) estão exibidas na Figura 33. Através dessas micrografias, é possível observar, morfologias heterogêneas, apresentando certa rugosidade e aglomerados no material. Essa rugosidade está diretamente relacionada ao aumento da concentração do extrato etanólico na solução, ficando ainda mais evidente na formulação (Q37ExEt), cuja concentração de extrato foi de 37%. Como evidenciado na micrografia da QBase, a solução de quitosana por não ter se solubilizado completamente nas condições estabelecidas do experimento, possíveis aglomerados continuarão a existir na mistura.

As micrografias dos filmes das formulações de quitosana com extrato de cúrcuma em vinagre, apresentam morfologias diferentes dos com os extratos etanólicos. Pela Figura 33, nota-se no geral, que a superfície de fratura dos filmes Q16ExV, Q28ExV e Q37ExV é homogênea, compacta e densa, apresentando em alguns pontos aglomerados de maneira bem discreta assim como a presença de fissuras ao longo de toda a superfície, especialmente, para os filmes Q16ExV e Q37ExV, demonstrando fragilidade mecânica. Observa-se que as fissuras vão se intensificando com o aumento da quantidade de extrato. Essa característica não é favorável para aplicação em revestimento de alimentos (fruta), pois acarretará numa maior perda de massa, acelerando a degradação do mesmo. Em relação a formulação Q28ExV, é importante destacar uma microestrutura diferente das demais formulações. Essa composição apresentou uma morfologia bastante homogênea, densa e compacta sem a presença de fissuras. Esse comportamento pode estar associado possivelmente a interação interfacial entre ambos os componentes da formulação, especialmente, observado para a concentração de 28%.

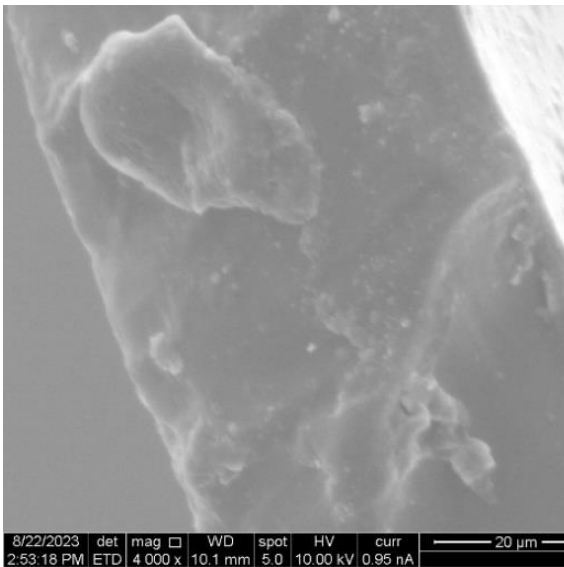
Ao se analisar as micrografias das formulações de quitosana com extrato de cúrcuma em vinagre e etanol, é possível observar que a amostra Q16ExEtV apresenta uma morfologia homogênea com certa irregularidade na superfície de fratura, ao contrário das amostras Q28ExEtV e Q37ExEtV, que exibem morfologias heterogêneas, apresentando defeitos microestruturais como fissuras, vazios, poros ao longo de toda superfície de fratura, que caracteriza redução na resistência mecânica do material. Esses defeitos são mais evidentes na amostra Q28ExEtV. Esta característica é atribuída a adição do vinagre no extrato, da mesma forma que foi visto para as misturas com o extrato de cúrcuma em vinagre.

A partir das informações morfológicas e topográficas exibidas nas micrografias com 37% de extrato, e associando os resultados obtidos nas análises de atividade antimicrobiana e antioxidante, é possível observar que, o filme com 37% de extrato etanólico, possui uma superfície de fratura rugosa, heterogênea e com presença de aglomerados, apresentando acima de 90% de inibição das cepas testadas na análise de atividade antimicrobiana e 75% de atividade antioxidante para o teste feito com 50 mg da formulação. Esses resultados mostram que Q37ExEt apresenta boas características para recobrimento de frutas.

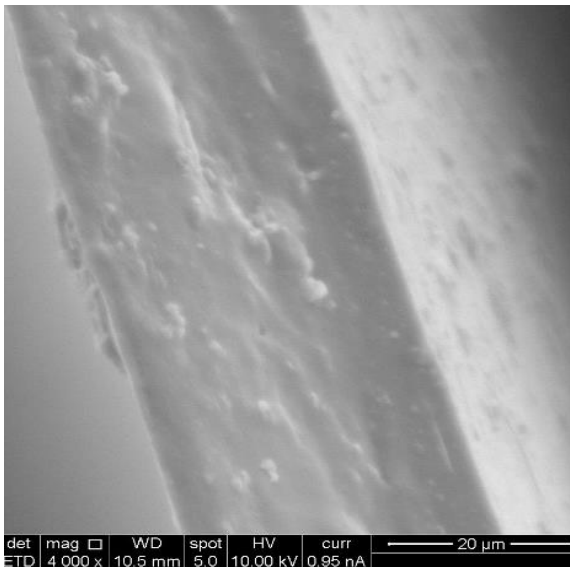
A formulação Q37ExV, que possui morfologia homogênea, compacta, densa com a presença de fissuras, apresentando atividade antimicrobiana acima de 90% para as cepas testadas, exceto para a *Pseudomonas aureaginosa* (inibição de $89,53 \pm 0,03\%$), exibindo apenas 25% de atividade antioxidante para o teste feito com 50 mg da formulação, não pode ser considerada uma excelente alternativa para recobrimento de frutas, já que apresenta fragilidade mecânica em sua morfologia e baixa atividade antioxidante. Já a mistura Q37ExEtV, com superfície de fratura heterogênea, apresentando defeitos microestruturais, exibindo efeito biocida para *Escherichia coli* e *Candida albicans* e atividade antimicrobiana acima de 90% para as outras cepas testadas, além de apresentar atividade antioxidante de 73% para o teste com 50 mg de formulação, apesar dos excelentes resultados nas análises das atividades, não pode ser considerado o melhor recobrimento, tendo em vista que a presença de poros e fissuras em sua microestrutura acarretará numa maior perda de massa, acelerando a degradação do alimento. O efeito dos tipos de revestimentos nas propriedades físico-química da uva será investigado mais adiante.

Figura 33: Micrografias das superfícies de fratura da quitosana pura e de suas diferentes formulações com extratos de cúrcuma

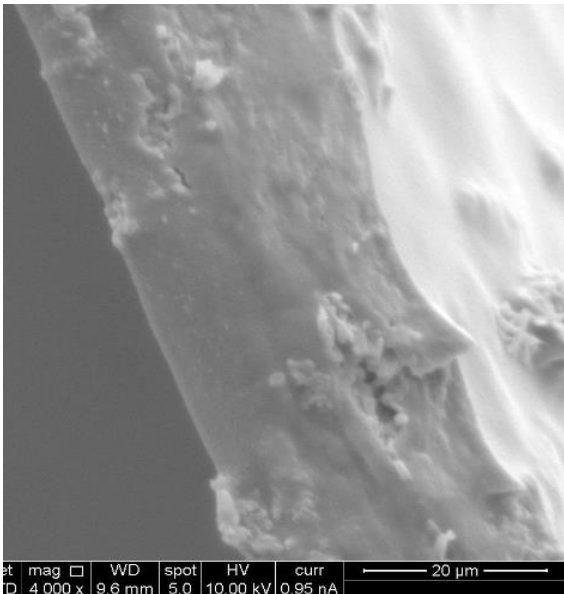
QBase



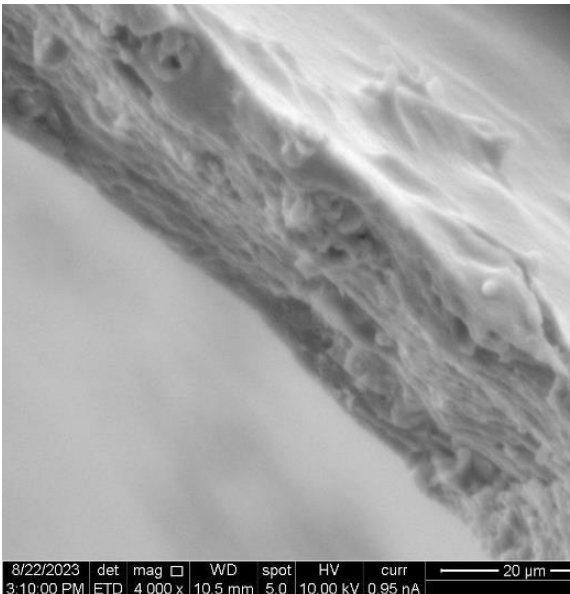
Q16ExEt



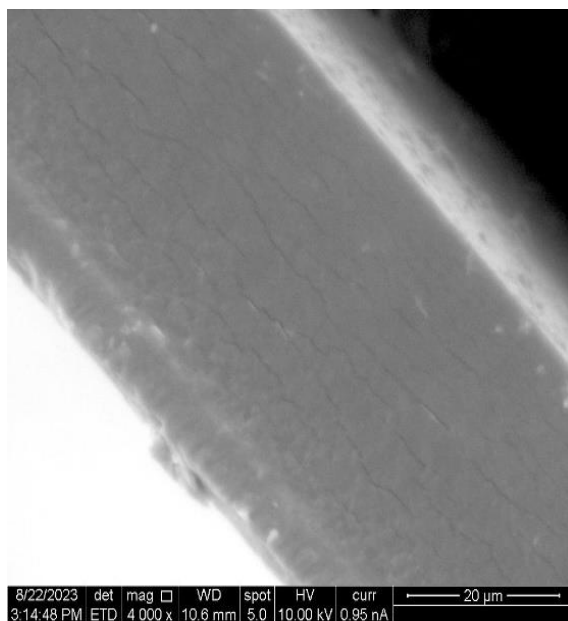
Q28ExEt



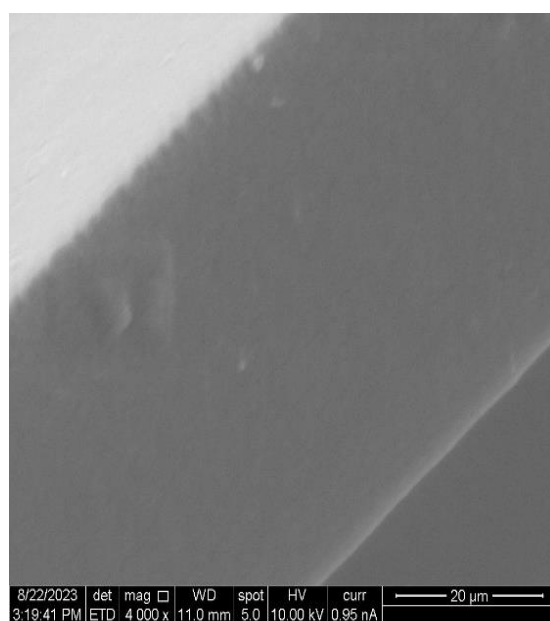
Q37ExEt



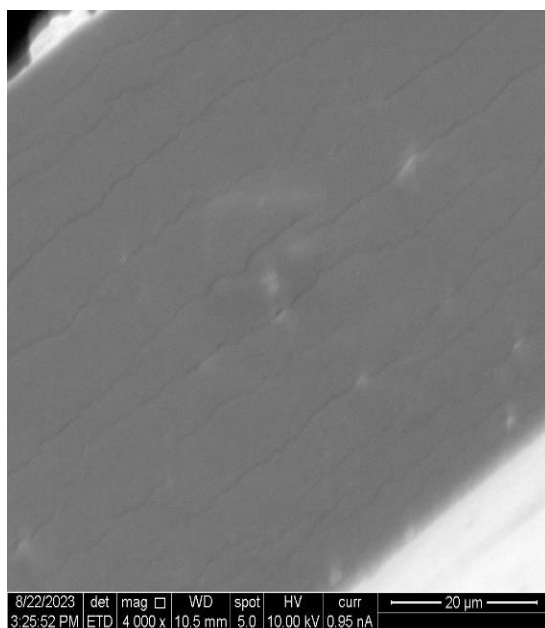
Q16ExV



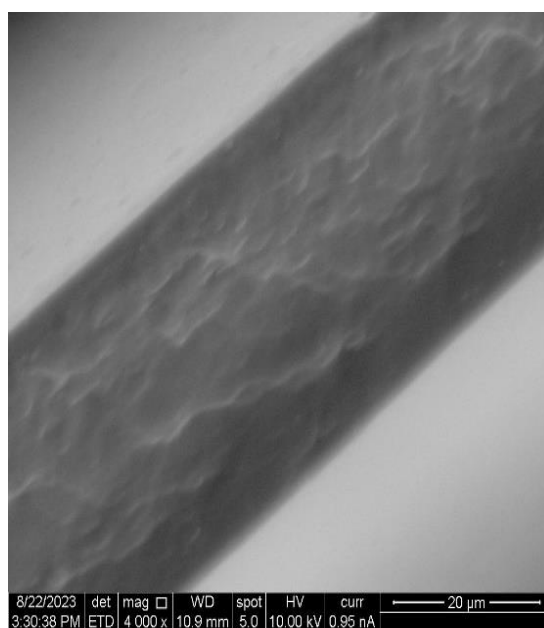
Q28ExV



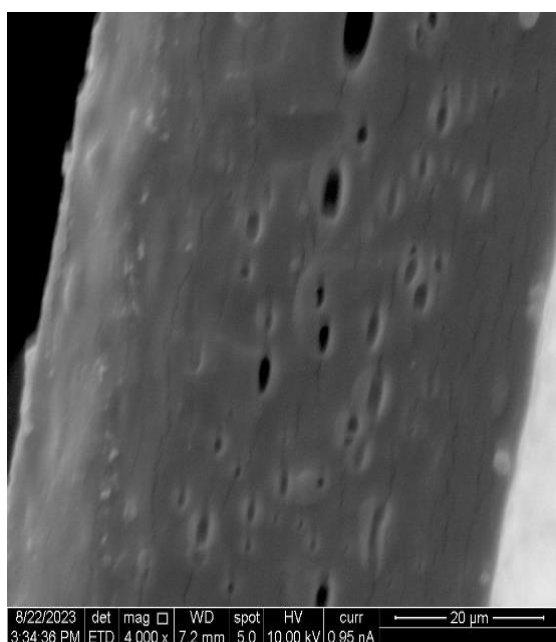
Q37ExV



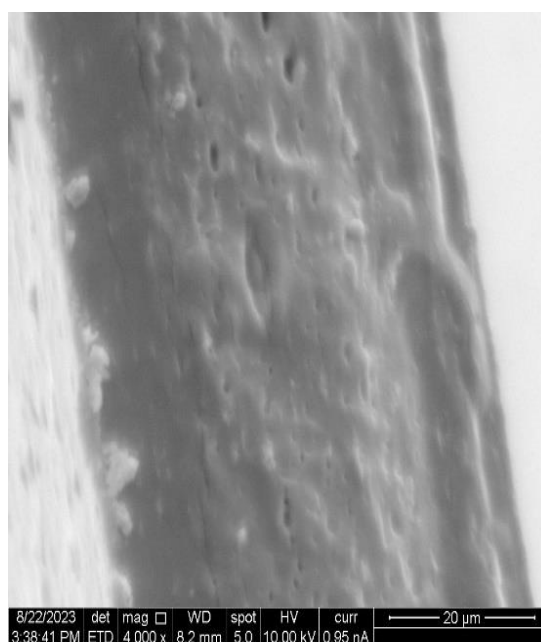
Q16ExEtV



Q28ExEtV



Q37ExEtV



Madian *et al.* (2023) ao analisarem as imagens de MEV dos filmes de quitosana incorporados com extrato seco de curcumina, verificaram uma morfologia de seção transversal densa, esponjosa e com estrutura desconectada. Concluíram que as estruturas esponjosas dos filmes provêm da forte interação entre a quitosana e a curcumina, o que causou uma perturbação na morfologia dos filmes.

Maniglia (2012), ao elaborar filmes biodegradáveis com resíduos da extração do pigmento de cúrcuma com os solventes etanol:isopropanol e metanol:acetona, analisou os filmes por MEV e verificou que, os filmes apresentaram superfície rugosa, com presença de poros e aglomerados. As micrografias dos filmes plastificados com glicerol e sorbitol tiveram na concentração de 19% de resíduo de cúrcuma, uma estrutura mais compacta e coesa (maior tensão na ruptura) do que com as concentrações de 22 e 30%. Os filmes com sorbitol apresentaram uma estrutura mais compacta com maior resistência e menor elongação do que os com glicerol.

Ismail *et al.* (2022) elaboraram filmes compósitos a base de quitosana e diferentes extratos secos (canela, cúrcuma e gengibre). As análises das micrografias mostraram que os filmes de quitosana:gengibre exibiram aglomerados através da aderência do polímero e pela interação magnética entre as partículas do gengibre. Os filmes com quitosana:canela e quitosana:cúrcuma apresentaram pequenas manchas brancas em algumas partes da imagem devido à pequena aglomeração relacionada à porcentagem da adição de cúrcuma e canela. Os resultados, de acordo com os autores, confirmaram a

homogeneidade entre a quitosana e outros produtos naturais e a mudança na estrutura da quitosana.

5.11 RECOBRIMENTO DA UVA

Amostras de Uvas-Vitória com e sem recobrimento, foram analisadas a cada 7 dias, totalizando 21 dias na temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$. As uvas foram recobertas com os extratos, QBase, e as misturas de quitosana com 37% dos diferentes tipos de extratos. Essa concentração de 37% v/v foi escolhida para análise devido apresentar a maior quantidade de bioativos oriundos do processo de extração da cúrcuma, usando diferentes solventes. Na Tabela 20, estão especificadas as nomenclaturas utilizadas no recobrimento das uvas. As uvas foram analisadas considerando o aspecto visual, perda de massa, potencial hidrogeniônico, °Brix e acidez titulável expressa em ácido tartárico.

Tabela 20: Nomenclatura das uvas com e sem recobrimento

Recobrimento	Sigla
Uva sem recobrimento	USR
Uva recoberta com QBase	UQBase
Uva recoberta com ExEt	UExEt
Uva recoberta com ExV	UExV
Uva recoberta com ExEtV	UExEtV
Uva recoberta com Q37ExEt	UQ37ExEt
Uva recoberta com Q37ExV	UQ37ExV
Uva recoberta com Q37ExEtV	UQ37ExEtV

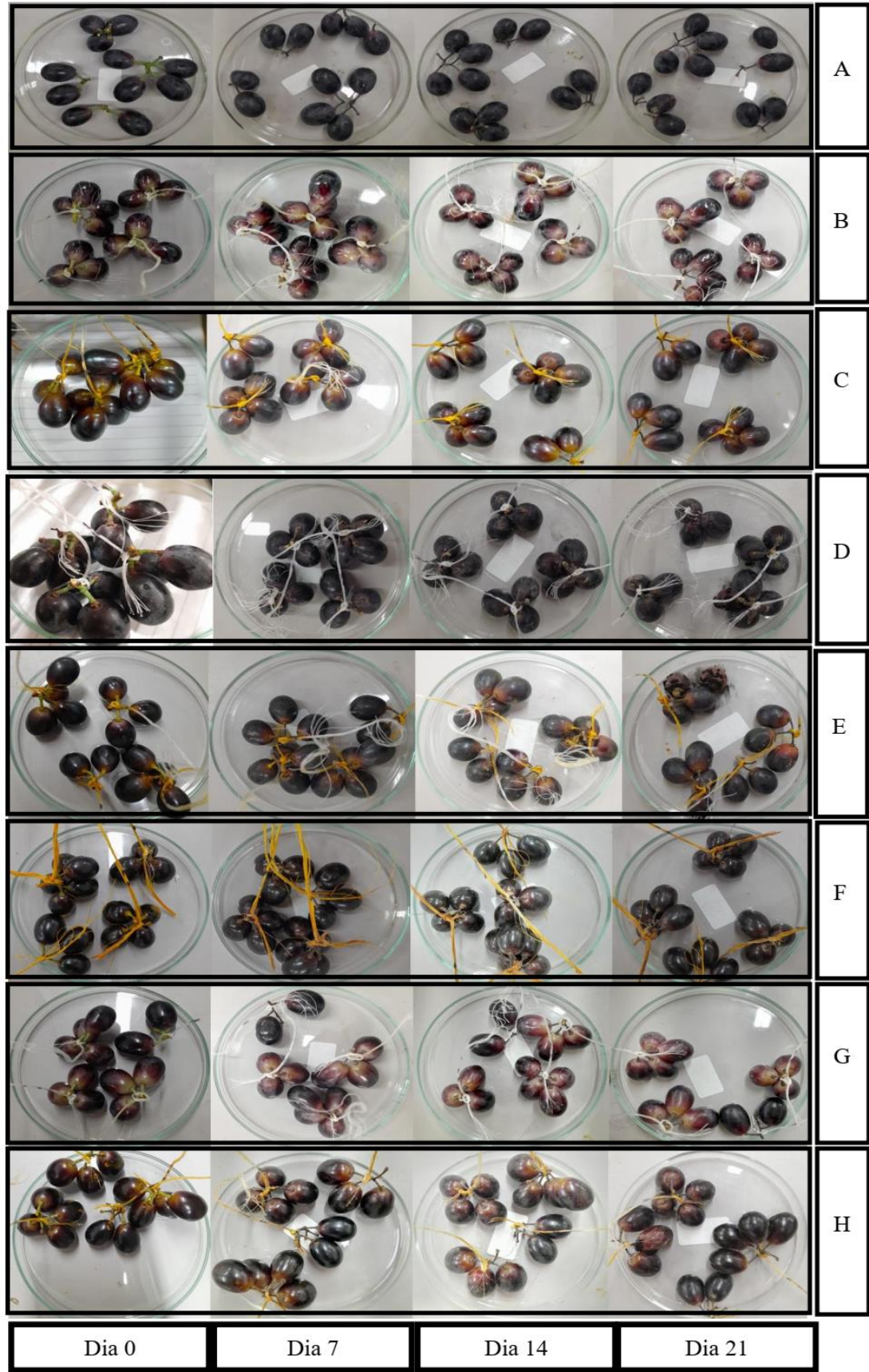
O aspecto visual das uvas pode ser observado na Figura 34. Para cada tipo de recobrimento, foram separadas em quatro amostras (quadruplicata). Ao longo dos 21 dias, as uvas sofreram modificação da aparência e algumas amostras tiveram a presença de bolores em sua superfície. Uma das quatro amostras de USR, UExEt, UExV, UExEtV e UQ37ExEtV apresentaram bolores, tendo sido excluída do lote de investigação e cálculo dessas propriedades.

As USR apresentaram mudanças na textura e desprendimento do talo a partir do sétimo dia. As amostras de UQBase, exibiram firmeza e brilho ao longo dos 21 dias. As UExEt mostraram-se brilhosas, porém uma mudança de textura foi observada com 21

dias. Amostras de UExV apresentaram brilho apenas no dia do recobrimento (dia 0). Ao passar dos dias, as amostras ficaram foscas e tiveram perda da textura. As amostras de UExEtV exibiram brilho, porém perderam textura ao longo do tempo.

Todas as amostras de uva recobertas com a mistura (solução de quitosana:extratos), apresentaram brilho e firmeza ao longo do período de análise. Apenas a amostra UQ37ExEtV contaminada com bolor apresentou mudança na textura no tempo de análise.

Figura 34: Aspecto visual da Uva ao longo de 21 dias, sendo: A- USR, B- UQBase, C- UExEt, D-UExV, E- UExEtV, F- UQ37ExEt, G- UQ37ExV, H- UQ37ExEtV



Lemes (2016) analisou diferentes soluções filmogênicas na qualidade pós-colheita de Uvas-Benitaka. Foram analisados filmes de gelatina, gelatina reticulada contendo propionato de cálcio e gelatina contendo nanopartículas de zeína com curcumina. As uvas foram avaliadas na temperatura de 25°C ao longo de 15 dias. Os resultados mostraram que, comparadas ao controle (uva sem revestimento), a partir do 7º dia de vida útil, as amostras com filme de gelatina e com filme de gelatina reticulada contendo propionato de cálcio apresentaram menor valor para firmeza, porém somente o filme de gelatina contendo nanopartículas de zeína com curcumina apresentou diferenças significativas. Mas no 15º dia, a amostra revestida com filme de gelatina reticulada diferiu significativamente das demais amostras, apresentando maior firmeza para uva tratada. Ressaltou ainda que, o aumento da firmeza estava relacionado com a desidratação do revestimento da gelatina com o tempo de armazenamento.

Neto e Oliveira (2016) avaliaram coberturas comestíveis à base de quitosana e curcumina na qualidade pós-colheita de Uvas-Benitaka. A análise foi feita no período de 7 dias com temperatura de 25°C e umidade relativa de 51%. Os resultados mostraram que, comparadas ao controle (amostra sem recobrimento), a partir do 7º dia de vida útil, as amostras recobertas com solução de quitosana apresentaram menores valores para firmeza, porém somente as amostras com filme de quitosana contendo nanopartículas de zeína com curcumina encapsuladas apresentaram diferenças significativas. Notou-se ainda que, o aumento da firmeza estava relacionado com a desidratação do revestimento com o tempo de armazenamento. Comportamento similar foi observado por Lemes (2016).

De maneira geral, analisando o aspecto visual das amostras ao longo de 21 dias, percebe-se que a presença do revestimento, seja ele extrato ou a mistura extrato:quitosana, garantiu uma certa firmeza comparada as uvas sem recobrimento, pois apenas as USR apresentaram desprendimento do talo e as amostras recobertas não desprenderam.

Comparando as amostras revestidas com extratos e quitosana:extratos, nota-se uma grande diferença de textura nas uvas contendo quitosana em seu recobrimento, seja ela pura ou misturada com os diferentes tipos de extratos. Esses revestimentos à base de quitosana conferiram mais firmeza e brilho para as amostras quando comparadas com as uvas recobertas apenas com os extratos. Através da análise, foi possível afirmar que as formulações contendo quitosana na sua composição, devido apresentarem maior viscosidade e aderência aos revestimentos, promoveram mais qualidade as uvas, prolongando o tempo de vida útil das mesmas para o tempo analisado. Dessa forma, é

importante pontuar que a quitosana usada como excipiente nas formulações atuou de forma benéfica na formação filmogênica, promovendo boa adesão à superfície das uvas no processo de revestimento.

A diminuição da firmeza nas uvas está associada à ação de enzimas degradadoras da parede celular, que hidrolisam o amido em açúcar e a protopectina em pectina solúvel em água (Gao *et al.*, 2013). Além das enzimas que normalmente ocorrem nas frutas, enzimas que degradam a parede celular são fornecidas por fungos filamentosos durante a colonização e infecção, o que induz o amolecimento característico nas frutas infectadas (Sun *et al.*, 2014).

5.11.1 Perda de massa

Os revestimentos comestíveis tendem a retardar a desidratação, reduzir a taxa respiratória, conservar a textura, auxiliar na retenção de compostos voláteis do sabor e reduzir o crescimento microbiano (Han *et al.*, 2005).

As Figuras 35 e 36 apresentam o perfil de perda de massa das uvas com e sem revestimentos ao longo de 21 dias. Observando os gráficos, é possível perceber que a uva sem recobrimento teve menor perda de massa em relação as uvas com revestimento. Esses valores podem ser observados na Tabela 21.

As amostras de UExEtV tiveram a maior perda de massa seguida das amostras de UExV, comparadas aos outros revestimentos com 21 dias de análise. Esse fato pode ser justificado devido a presença do vinagre como solvente que não favoreceu num eficiente processo de extração dos curcuminóides. Isso talvez tenha dificultado a formação de um revestimento mais coeso com característica protetora e, em virtude disso tenha conduzido a uma maior desidratação. Em contrapartida, as amostras UExEt apresentaram a menor perda de massa quando comparadas com todas as outras amostras à base de extratos. Isso pode ser justificado pelo fato de que, a extração mais eficiente dos curcuminóides foi obtida com o solvente etanol, e isso é possível constatar através das propriedades antioxidante e antimicrobiana já apresentadas anteriormente. Aliado a isso, foi possível a formação de um revestimento com propriedades protetoras, dificultando a perda de massa da amostra.

Figura 35: Perda de massa da USR e das uvas recobertas com os extratos ao longo de 21 dias

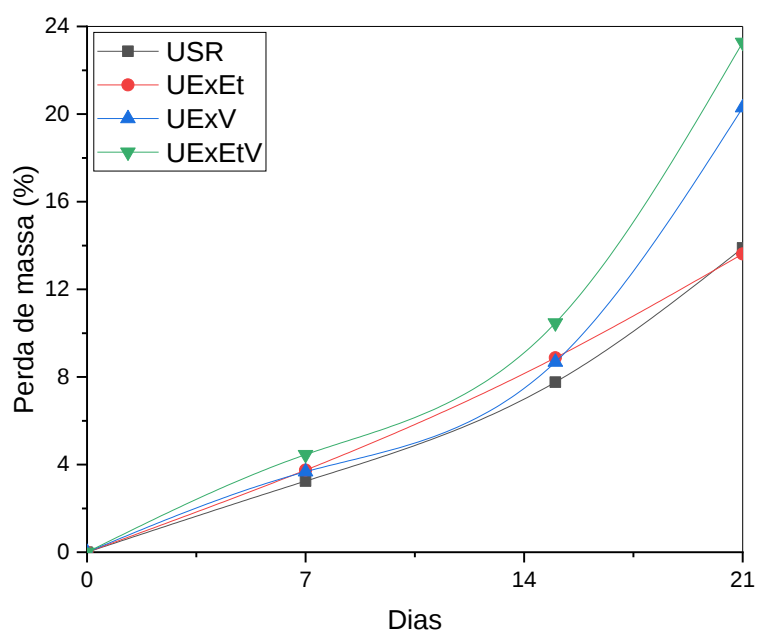
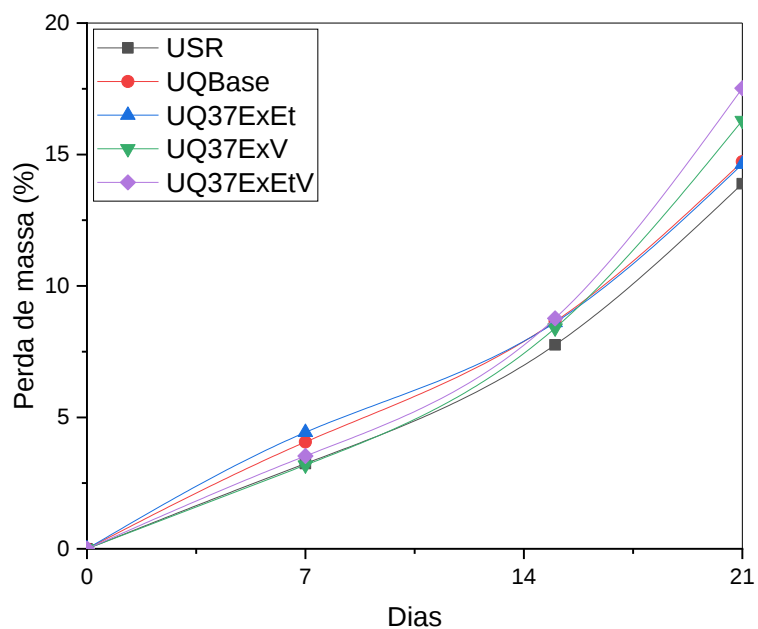


Figura 36: Perda de massa da USR, UQBase e das uvas recobertas com as misturas quitosana:extratos ao longo de 21 dias



Os gráficos de perdas de massa de todas as amostras com as barras de erros estão exibidos no Apêndice 1.

Tabela 21: Porcentagem de perda de massa em função do tempo

Tratamento	Perda de Massa (%)			
	0 Dia	7 Dias	14 Dias	21 Dias
USR	-	3,2432±2,6177	7,7606±6,3075	13,8904±2,7762
UQBase	-	4,0615±1,6121	8,6447±4,0781	14,7252±7,8351
UExEt	-	3,7512±3,2631	8,8767±7,3817	13,6183±2,1478
UExV	-	3,6769±5,9783	8,6779±14,8035	20,2920±71,3069
UExEtV	-	4,4527±4,0706	10,4679±9,8375	23,2735±12,6713
UQ37ExEt	-	4,4301±7,3679	8,6088±13,9495	14,6275±23,1416
UQ37ExV	-	3,1850±2,7203	8,4004±8,7063	16,2923±17,0411
UQ37ExEtV	-	3,5330±2,4283	8,7665±7,7833	17,5233±3,8009

Resultados semelhantes foram obtidos por Neto e Oliveira (2016), cujas amostras com revestimento de quitosana e quitosana com curcumina utilizadas no recobrimento de uvas-Benitaka, tiveram maior perda de massa do que as amostras sem recobrimento. Este fato foi justificado tendo em vista que os filmes que foram aplicados nas amostras perderam umidade da sua estrutura tridimensional e mantiveram o teor de água nas frutas.

Lemes (2016) analisou no período de 15 dias o recobrimento de amostras de uvas-Benitaka com gelatina, gelatina reticulada adicionada de nanopartículas contendo curcumina e gelatina reticulada contendo propionato de cálcio. Também foi observado uma maior perda de massa em uvas com recobrimento em relação ao controle (uva sem recobrimento). Concluiu que os hidrogéis perderam umidade da sua estrutura tridimensional e mantiveram o teor de água das frutas.

Silva *et al.* (2012) avaliaram a qualidade de uva-Isabel tratada com cloreto de cálcio e armazenada sob atmosfera modificada e atmosfera ambiente. Os resultados mostraram que as uvas tratadas com CaCl_2 , apresentaram menor perda de massa (em média 2,14%) sob atmosfera modificada. A perda de massa foi superior em uvas sob atmosfera ambiente, com declínio na dose de 4% de CaCl_2 .

5.11.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH das uvas com e sem recobrimentos estão plotados nas Figuras 37 e 38 e exibidos na Tabela 22. Analisando as amostras nos tempos de 0 a 21 dias, pode-

se constatar que os valores de pH permaneceram ácidos e praticamente não sofreram variação significativa ao longo dos 21 dias de análises.

A Instrução Normativa N° 01 de 07 de janeiro de 2000 do Ministério da Agricultura, estabelece os padrões físico-químicos e microbiológicos para polpas de frutas, e aponta que os padrões para a polpa de Uva, independentemente do tipo, devem ser de pH mínimo de 2,9, °Brix mínimo de 14 e acidez total mínima de 0,41g/100g, os valores máximos não são estabelecidos nesta norma. De acordo com esta Instrução Normativa, os valores de pH das uvas analisadas no presente estudo, estão dentro do padrão especificado.

Todas as formulações usadas como revestimentos nas uvas apresentaram discreta diminuição nos valores de pH até 7 dias, e aumentos até 21 dias. A uva revestida com Q37ExV obteve a maior variação de pH, seguida das amostras de uva revestida com Q37ExEtV. As amostras de UQ37ExV apresentou valores de pH ligeiramente menores do que os demais revestimentos com UQ37ExEt e UQ37ExEtV, que apresentaram tendência de aumento nos valores de pH quando comparados com os das uvas contendo extratos puros. O ideal seria que o pH das uvas revestidas estabilizasse ao longo dos dias, garantindo certa eficiência do recobrimento evitando a proliferação de microrganismos.

De acordo com Jay *et al.* (2008) o pH e a acidez dos alimentos são fatores determinantes para a multiplicação dos microrganismos, e cada microrganismo possui um pH diferente para seu crescimento. Levando em conta os microrganismos analisados na presente pesquisa, por exemplo a *Escherichia coli* ATCC 25922, que exige pH para multiplicação de provavelmente 4,4-9,5, observamos que todas as amostras de uva analisadas, estão fora da faixa de proliferação deste microrganismo.

Estudos realizados por De Jesus Filho *et al.* (2020) avaliaram a aplicação de revestimentos comestíveis a base de gelatina, fécula de batata e amido de milho para conservação de uvas do tipo Rubi. Os resultados mostraram que o pH das uvas revestidas aumentaram com o tempo de armazenamento, sendo que a partir do 5º dia houve estabilização do pH, diferente da amostra controle que apresentou um crescimento linear ao longo do período de armazenamento, mostrando um pH mais elevado em relação as amostras revestidas. Segundo os autores, o menor valor de pH das amostras recobertas com relação a amostra controle, ocorreram devido ao consumo dos ácidos orgânicos como substrato durante a respiração no processo de maturação dos frutos, e com a aplicação dos revestimentos, houve diminuição desses processos metabólicos.

Figura 37: Curvas de pH da USR e das uvas recobertas com os extratos ao longo de 21 dias

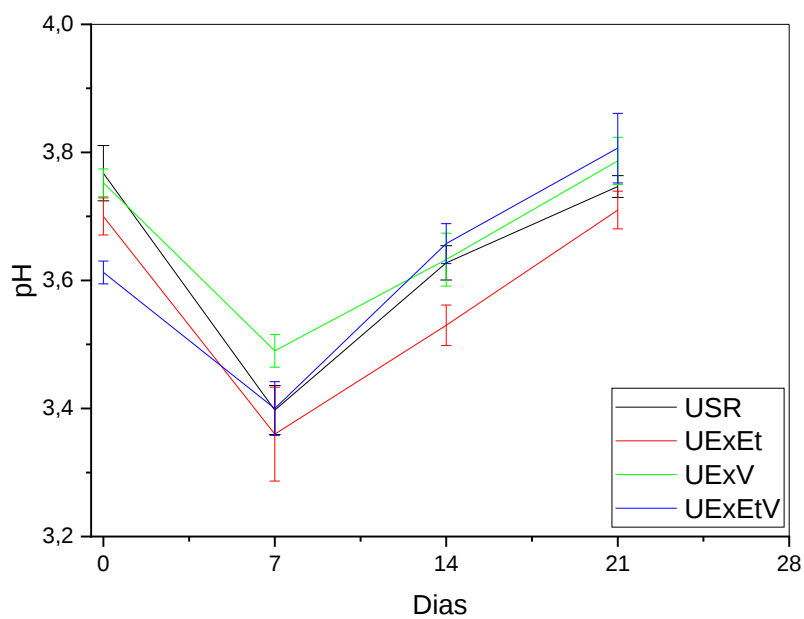


Figura 38: Curvas de pH da USR, UQBase e das uvas recobertas com as misturas quitosana:extratos ao longo de 21 dias

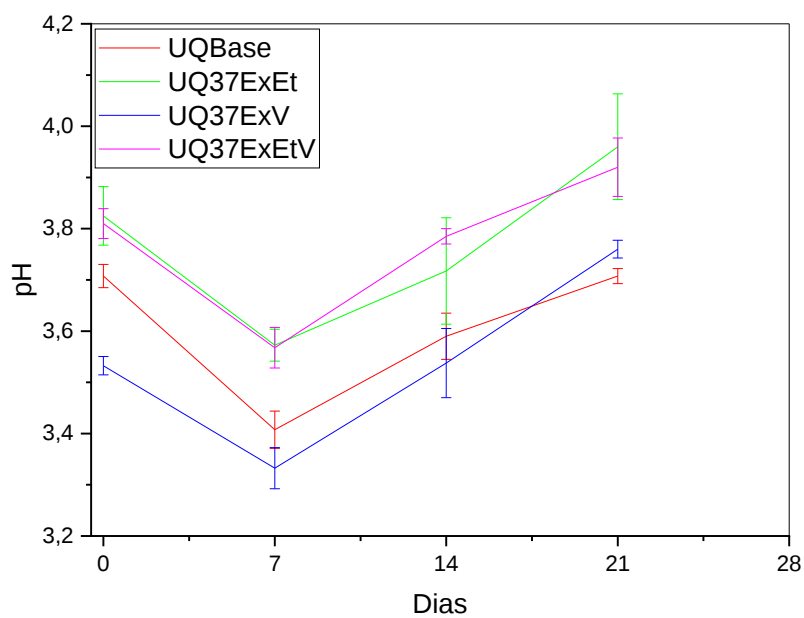


Tabela 22: Valores de pH das Uvas antes e após os tratamentos ao longo de 21 dias

Tratamento	pH			
	0 Dia	7 Dias	14 Dias	21 Dias
USR	3,7675±0,0432	3,3975±0,0383	3,6275±0,0268	3,7466±0,0169
UQBase	3,7075±0,0227	3,4075±0,0363	3,5900±0,0452	3,7070±0,0147
UExEt	3,7000±0,0291	3,3600±0,0734	3,5300±0,0316	3,7100±0,0294
UExV	3,7525±0,0216	3,4900±0,0254	3,6325±0,0414	3,7866±0,0368
UExEtV	3,6125±0,0178	3,4000±0,0418	3,6575±0,0311	3,8066±0,0543
UQ37ExEt	3,8250±0,0572	3,5725±0,0311	3,7175±0,1040	3,9600±0,1031
UQ37ExV	3,5325±0,0178	3,3325±0,0402	3,5375±0,0675	3,7600±0,0173
UQ37ExEtV	3,8100±0,0291	3,5675±0,0396	3,7850±0,0150	3,9200±0,0571

5.11.3 Teor de sólidos solúveis (°Brix) e acidez titulável

O teor de sólidos solúveis e a acidez titulável, segundo Mattiuz *et al.* (2009), estão relacionados com o índice de maturação que indica o sabor do produto, uma vez que é o resultado do balanço entre os constituintes ácidos e doces da fruta.

As Figuras 39 e 40 e a Tabela 23, mostram os resultados das variações de °Brix nas uvas com e sem revestimentos. Todas as amostras apresentaram aumento no teor de sólidos solúveis ao longo do período analisado. Pedro Júnior *et al.* (2014) afirmam que no processo de maturação das uvas, existe o acúmulo de sólidos solúveis e a diminuição da acidez total. Chitarra e Chitarra (2005) asseguram que, em alguns frutos não climatéricos como a uva, pode ocorrer aumento no teor inicial de açúcares, devido à degradação de polissacarídeos da parede celular.

A partir da Tabela 23, percebe-se que as amostras UExV, apresentaram os maiores valores no teor de sólidos solúveis em 21 dias de análise, seguidos das amostras UQ37ExEt e UQ37ExEtV, respectivamente. Por outro lado, as amostras UQ37ExV e UQBase apresentaram menores valores °Brix. Exceção pode ser dada a amostra UQ37ExV no tempo de 21 dias que apresentou discreto aumento nesse valor quando comparado com a amostra UQBase. O teor de sólidos solúveis aumenta conforme a perda de massa da amostra e isso foi observado no presente estudo pois todas as amostras sofreram perda de massa e aumento do °Brix no período de tempo da análise, porém os maiores valores de °Brix apresentados, foram para amostras com o estado de maturação mais alto.

Fonseca (2012) avaliou os parâmetros físico-químicos para conservação de uvas de mesa revestidos com quitosana e cera de abelha. Os resultados mostraram que ao longo de 28 dias, não houveram grandes mudanças dos valores de °Brix para as amostras. O autor afirmou que a partir do décimo quarto dia de análise foram registrados valores mais elevados de °Brix, o que, segundo ele, ocorreu devido a desidratação da amostra analisada. Os valores médios de °Brix registrados variaram entre 17,1% e 21,4% ao longo dos 28 dias de ensaio, o valor mínimo registrado foi para as amostras de uvas revestidas com quitosana ao fim de 7 dias de conservação, e o valor máximo foi para as amostras de uvas revestidas com quitosana incorporada com 20% de cera de abelha, ao fim de 14 dias de conservação.

Figura 39: °Brix da USR e das uvas recobertas com os extratos ao longo de 21 dias

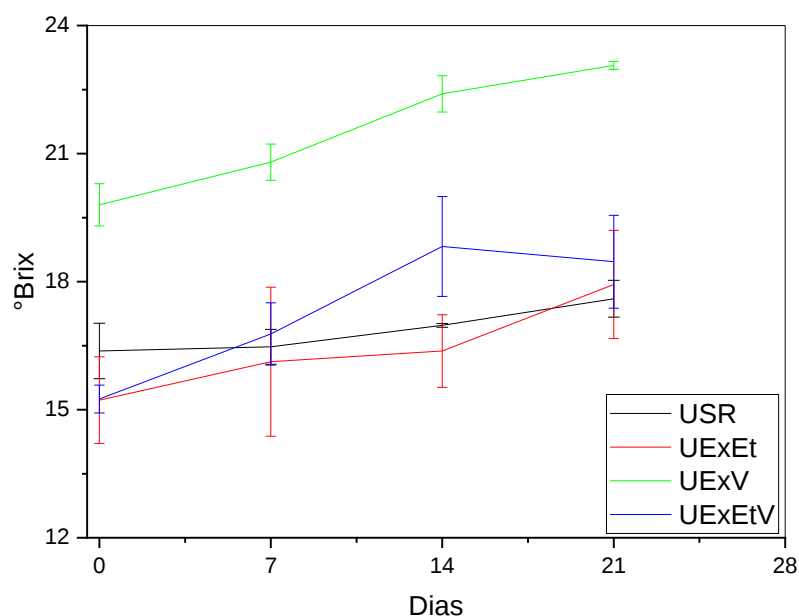


Figura 40: °Brix da USR, UQBase e das uvas recobertas com as misturas quitosana:extratos ao longo de 21 dias

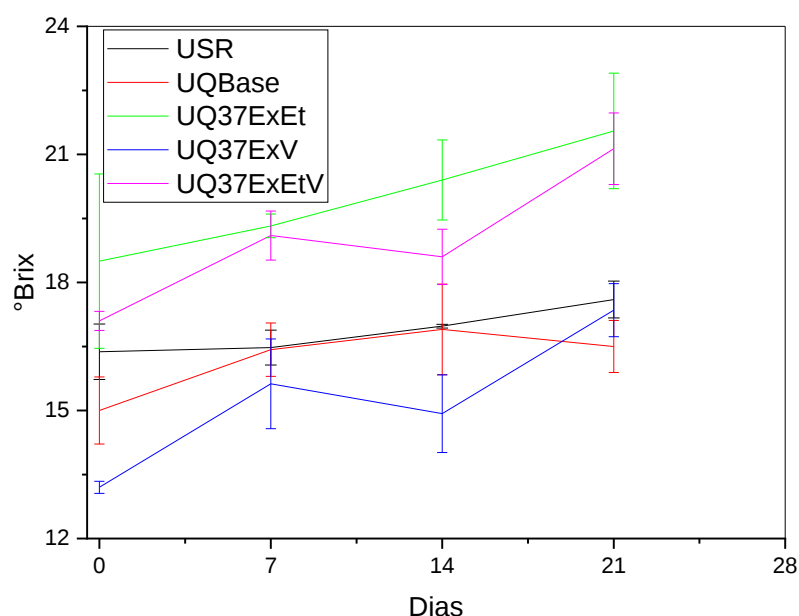


Tabela 23: °Brix dos tratamentos em função do tempo

Tratamento	°Brix			
	0 Dia	7 Dias	14 Dias	21 Dias
USR	16,3750±0,6495	16,4750±0,4085	16,9750±0,0433	17,6000±0,4320
UQBase	15,0000±0,7874	16,4250±0,6259	16,9000±1,0630	16,5000±0,6082
UExEt	15,2250±1,0133	16,1250±1,7455	16,3750±0,8496	17,9330±1,2684
UExV	19,8000±0,4949	20,8000±0,4242	22,4000±0,4242	23,0660±0,0942
UExEtV	15,2500±0,3278	16,7750±0,7292	18,8250±1,1691	18,4660±1,0873
UQ37ExEt	18,5000±2,0420	19,3250±0,2772	20,4000±0,9380	21,5500±1,3518
UQ37ExV	13,2000±0,1414	15,6250±1,0497	14,9250±0,9093	17,3500±0,6224
UQ37ExEtV	17,1000±0,2236	19,1000±0,5744	18,6000±0,6480	21,1330±0,8379

A partir dos dados obtidos, é possível notar que, apesar das amostras de uva ter sido selecionadas de um mesmo cacho, colhidas no mesmo pomar, a diferença do teor de sólidos solúveis de uma amostra pra outra foram bem diferentes devido ao processo de maturação. As amostras sem recobrimento (USR) e UQBase, comparando-as nos tempos de 0 e 21 dias, sofreram menor variação do °Brix. Já as amostras recobertas com os

extratos e a mistura quitosana:extratos, apresentaram maior variação, isso pode ter acontecido devido a presença dos curcuminóides na formulação, que retardaram o processo oxidativo da fruta.

5.11.4 Acidez titulável

A acidez total titulável é a quantidade de ácido presente em uma amostra que reage com uma solução básica, de concentração previamente determinada (Cecchi, 2003). Meneguzzo *et al.* (2006) relatam que o aumento da acidez titulável da uva está associado à perda de massa das bagas e à formação dos ácidos glicônico e pirúvico.

Através das Figuras 41 e 42 e Tabela 24, é possível verificar o comportamento das uvas com e sem revestimento para o presente estudo. As amostras UQ37ExEtV e UExEt apresentaram maior estabilidade, pois exibiram menor variação dos valores de acidez. Esse fato está ligado a perda de massa na amostra, o que corrobora com os dados já exibidos na Tabela 18. Já a amostra UQBase teve uma pequena diminuição do valor da acidez, diferente das outras amostras revestidas, que mostraram aumento da quantidade de ácido tartárico.

De Jesus Filho *et al.* (2020) avaliaram a aplicação de revestimentos comestíveis a base de gelatina, fécula de batata e amido de milho para conservação de uvas do tipo Rubi. Os resultados mostraram que os valores de acidez titulável encontrados variaram de 0,54mg/100g a 0,64mg/100g no primeiro tempo de armazenamento, porém com o decorrer do tempo, a acidez foi reduzida e apresentaram valores muito próximos (aproximadamente 0,43 mg/100g) para todas as amostras analisadas. O mesmo aconteceu nos estudos de Félix *et al.* (2018) que, ao analisarem amostras na pré-colheita de uvas *Sweet Globe* revestidas com quitosana, perceberam que a acidez titulável variou durante o armazenamento com pequenas reduções ao longo do tempo e que as doses de quitosana testadas influenciaram os valores de acidez. As doses 1,0 e 1,2% de quitosana mantiveram maior acidez titulável, não diferindo do controle. Os autores concluíram que as diferenças nos valores da acidez não influenciavam na qualidade da uva, apenas no sabor.

Figura 41: Acidez titulável de USB e das uvas recobertas com os extratos ao longo de 21 dias

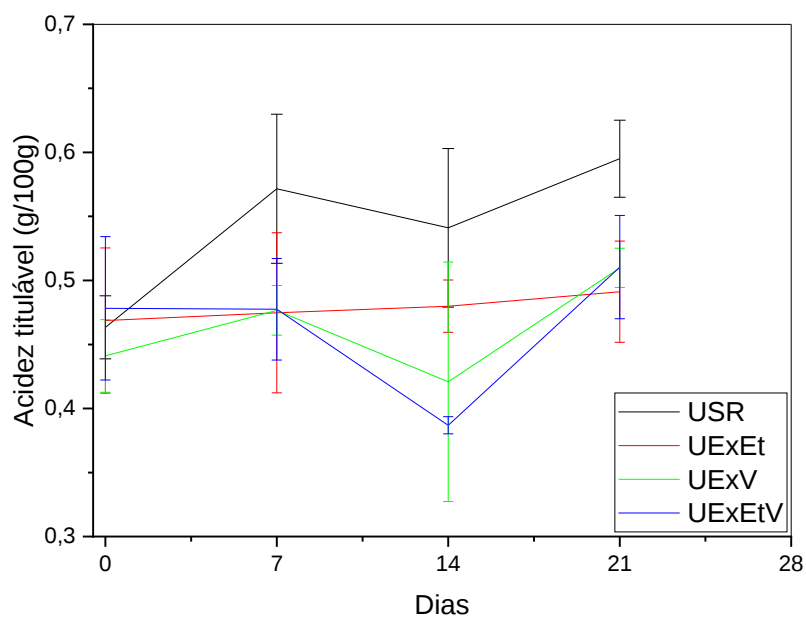


Figura 42: Acidez titulável de USB, UQBase e das uvas recobertas com as misturas quitosana:extratos ao longo de 21 dias

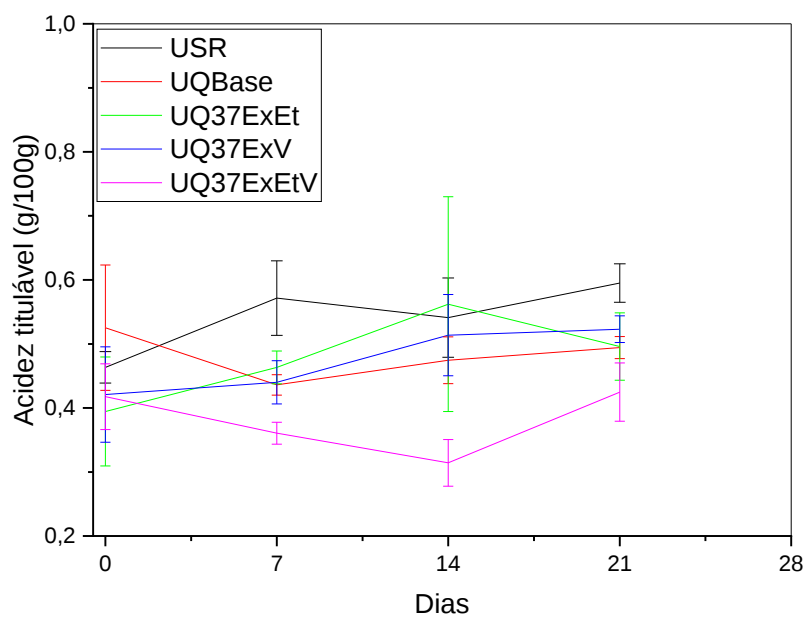


Tabela 24: Acidez titulável dos tratamentos da Uva-Vitória em função do tempo

Tratamento	0 Dia	7 Dias	14 Dias	21 Dias
USR	0,4633±0,0246	0,5715±0,0582	0,5410±0,0619	0,5951±0,0301
UQBase	0,5253±0,0978	0,4360±0,0159	0,4744±0,0365	0,4942±0,0172
UExEt	0,4686±0,0567	0,4747±0,0625	0,4799±0,0204	0,4911±0,0395
UExV	0,4410±0,0284	0,4766±0,0194	0,4208±0,0935	0,5097±0,0153
UExEtV	0,4782±0,0560	0,4774±0,0396	0,3868±0,0067	0,5104±0,0403
UQ37ExEt	0,3945±0,0851	0,4632±0,0256	0,5621±0,1678	0,4959±0,0526
UQ37ExV	0,4209±0,0745	0,4400±0,0338	0,5137±0,0635	0,5230±0,0208
UQ37ExEtV	0,4176±0,0514	0,3605±0,0171	0,3142±0,0365	0,4247±0,0455

Levando em conta que o aumento da acidez titulável da uva estar associado à perda de massa das bagas, e relacionando-o com os resultados das Tabelas 24 e 21, é possível perceber que o aumento da acidez das amostras UExV, UExEtV, UQ37ExEt e UQ37ExV confirmam os resultados de perda de massa já exibidos anteriormente.

A partir de todas as análises realizadas nas uvas com e sem recobrimento, é possível afirmar que, o extrato etanólico de cúrcuma teve maior eficiência no revestimento das uvas pois apresentou menor perda de massa, certa estabilidade na análise de pH, foi o segundo melhor revestimento que apresentou estabilidade na análise de °Brix, variando apenas 2°Brix em 21 dias e na análise de acidez titulável, foi a segunda amostra que apresentou maior estabilidade ao longo do tempo. Com relação as formulações quitosana:extrato, a mistura que apresentou melhor resultados foi Q37ExEt, pelos resultados obtidos com a perda de massa e controle de °Brix. Esses resultados eram esperados devido ao fato de que, a extração dos pigmentos curcuminóides foi mais eficiente com o solvente etanol; isso é percebido através da análise de atividade antioxidante, no qual esse extrato, apresentou maior atividade.

6 CONCLUSÃO

Através desse trabalho, é possível concluir que os extratos de cúrcuma obtidos com os solventes etanol, vinagre e a mistura de ambos, promoveram resultados distintos nas diferentes formulações, como era esperado. Dentre eles, o etanol mostrou-se mais eficiente no desprendimento dos curcuminoides presentes na cúrcuma em pó, sendo evidenciado através das análises de FTIR e UV-Vis. As análises de atividade antioxidante exibiram melhores resultados para os extratos etanólicos, confirmando a eficiência desse solvente no processo de extração de bioativos presentes na cúrcuma, obtendo o maior valor de atividade para o ExEt (98,12%), seguida do ExEtV (93,44%). As formulações de quitosana contendo esses extratos, também apresentaram resultados bastante satisfatórios, considerando as análises realizadas com 50mg da mistura: Q37ExEt (75,4%) e Q37ExEtV (73,3%).

A incorporação da quitosana nas formulações, além de aumentar a viscosidade do sistema, agregou propriedades importantes aos revestimentos, como controle do pH e estabilidade nas formulações por apresentar potencial Zeta acima de +30mV. A análise de atividade antimicrobiana frente aos microrganismos testados, mostrou excelentes resultados para as formulações em geral, apresentando ação antimicrobiana potencial, além de ação biocida para as seguintes formulações: QBase (*Candida albicans* ATCC 76645), ExEt (*Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25783), ExEtV (*Candida albicans* ATCC 76645), e Q37ExEtV (*Escherichia coli* ATCC 25922 e *Candida albicans* ATCC 76645). Importante destacar que, a presença da quitosana na formulação Q37ExEtV, foi bastante efetiva, apresentando papel fundamental na inibição contra *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25783, o que não foi observado com extrato puro, ExEtV.

A partir das análises físico-químicas, vale destacar que as uvas revestidas com as formulações ExEt e Q37ExEt, promoveram certa estabilidade aos parâmetros físico-químicos da fruta. O extrato ExEt apresentou maior estabilidade na perda de massa, considerável controle de pH, °Brix e acidez titulável, enquanto a Q37ExEt apresentou certa estabilidade apenas na perda de massa, controle de pH e °Brix ao longo de 21 dias. Nesse contexto, é importante ressaltar que o extrato assim como a formulação (ExEtV e Q37ExEtV), embora tenham exibido significativos valores de atividade antimicrobiana e antioxidante, mesmo assim não conferiram a fruta, resultados promissores de estabilidade físico-química, cujas características dos revestimentos possivelmente precisem ser ajustadas.

Por fim, é possível considerar que, as formulações estudadas nesse trabalho e, que apresentaram resultados significativos, especialmente, de atividades antioxidante e antimicrobiana, são de grande relevância para uso na indústria alimentícia. A demanda do consumidor aliada ao desenvolvimento de novas tecnologias por aditivos cada vez mais, naturais e sustentáveis, para a manutenção da qualidade e segurança dos alimentos, tem despertado investigações potenciais no uso de matérias-primas de origem vegetal existentes na flora brasileira que possuem amplo espectro de ação biológica, potencialmente úteis, para elaboração de revestimentos comestíveis com propriedades funcionais, promissoras, para substituição dos aditivos sintéticos existentes no mercado.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Alterar os parâmetros de processo como velocidade de rotação e tempo de mistura para a preparação da solução de quitosana e das formulações com os extratos;
- Testar as formulações estudadas aqui, em outros tipos de alimentos para avaliar seu comportamento frente a conservação do produto;
- Utilizar tensoativos no preparo das formulações para revestimento, a fim de trazer maior estabilidade das formulações contendo quitosana:extratos.

7 REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 10547: álcool etílico: determinação da condutividade elétrica: método instrumental. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ALVES, A. A. S.; COSTA, A. M. T.; DA SILVA, A. V.; DA SILVA SIMÕES, C. V. *et al.* Revestimentos comestíveis à base de polissacarídeos em frutas: uma revisão narrativa. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 6, p. 388-402, 2022.

ALVES, C. Q.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P.; BAHIA, M. V. *et al.* Métodos para determinação de atividade antioxidante in vitro em substratos orgânicos. **Química Nova**, 33, p. 2202-2210, 2010.

ALVES, J. M. N.; OLIVO, P. M.; RODRIGUES, B. M.; ORNAGHI, M. *et al.* Revestimento comestível a base de carragena e extrato de curcuma longa em ricotas. **Brazilian Journal of Development**, 5, n. 8, p. 12656-12677, 2019a.

ALVES, J. M. N.; OLIVO, P. M.; RODRIGUES, B. M.; ORNAGHI, M. *et al.* Revestimento comestível a base de carragena e extrato de curcuma longa em ricotas/Carragena based edible coating and curcuma longa extract in ricotta cheese. **Brazilian Journal of Development**, 5, n. 8, p. 12656-12677, 2019b.

ALY, M. M.; GUMGUMJEE, N. M. Antimicrobial efficacy of Rheum palmatum, Curcuma longa and Alpinia officinarum extracts against some pathogenic microorganisms. **African Journal of Biotechnology**, 10, n. 56, p. 12058-12063, 2011.

ANDREO, D.; JORGE, N. Antioxidantes naturais: técnicas de extração. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, 24, n. 2, p. 319-336, 2006.

ARAUJO, C. A. C.; ALEGRIO, L. V.; GOMES, D. C. F.; LIMA, M. E. F. *et al.* Studies on the effectiveness of diarylheptanoids derivatives against Leishmania amazonensis. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, 94, p. 791-794, 1999.

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

ASSIS, O. B. G.; BRITTO, D. d.; FORATO, L. A. O uso de biopolímeros como revestimentos comestíveis protetores para conservação de frutas in natura e minimamente processadas. 2009.

BAE, G.-U.; SEO, D.-W.; KWON, H.-K.; LEE, H. Y. *et al.* Hydrogen peroxide activates p70S6k signaling pathway. **Journal of Biological Chemistry**, 274, n. 46, p. 32596-32602, 1999.

BAGATINI, L. Avaliação da adição de Cúrcuma longa L. e análise sensorial em pães integrais. 2023.

BAGGIO, J. Avaliação dos resíduos (Casca e pó orgânico) de café (*Coffea arabica* L.) como provável fonte de substâncias bioativas. 2006.

BALDRICK, P. The safety of chitosan as a pharmaceutical excipient. **Regulatory toxicology and pharmacology**, 56, n. 3, p. 290-299, 2010.

BARANKEVICZ, G. B. Poder antioxidante da cúrcuma (*Curcuma longa* L.) nos parâmetros neuroquímicos em ratos induzidos a depressão. 2022.

BARBOZA, H. T. G.; SOARES, A. G.; FERREIRA, J. C. S.; SILVA, O. F. Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais. **Research, Society and Development**, 11, n. 9, p. e9911931418-e9911931418, 2022.

BASTOS, M. d. S. R. Frutas minimamente processadas: aspectos de qualidade e segurança. **Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, p. 10-11, 2006.

BITENCOURT, C. M. **Desenvolvimento e aplicação de filmes á base de gelatina aditivados com extrato etanólico de cúrcuma (*Curcuma longa* L.)**. 2013. 108 f. (Mestre) -, Universidade de São Paulo, Pirassununga.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian journal of biochemistry and physiology**, 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

BOJORGES, H.; RÍOS-CORRIPIO, M. A.; HERNÁNDEZ-CÁZARES, A. S.; HIDALGO-CONTRERAS, J. V. *et al.* Effect of the application of an edible film with turmeric (*Curcuma longa* L.) on the oxidative stability of meat. **Food Science & Nutrition**, 8, n. 8, p. 4308-4319, 2020.

BONA, E. A. M. D.; PINTO, F. G. d. S.; FRUET, T. K.; JORGE, T. C. M. *et al.* Comparação de métodos para avaliação da atividade antimicrobiana e determinação da concentração inibitória mínima (cim) de extratos vegetais aquosos e etanólicos. **Arquivos do Instituto Biológico**, 81, p. 218-225, 2014.

BRAGA, M. E. M.; LEAL, P. F.; CARVALHO, J. E.; MEIRELES, M. A. A. Comparison of yield, composition, and antioxidant activity of turmeric (*Curcuma longa* L.) extracts

obtained using various techniques. **Journal of agricultural and food chemistry**, 51, n. 22, p. 6604-6611, 2003.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.-E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**, 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRANT, A. J. C. Preparação e caracterização de hidrogéis a partir de misturas de soluções de quitosana e poli (N-vinil-2-pirrolidona). 2008. 170f. 2008.

BRASIL. Dispõe sobre a aprovação de uso de aditivos alimentares para produtos de frutas e de vegetais e geleia de mocotó (Resolução RDC nº 8 de 06 de março de 2013). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 2013.

BRASIL. Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos (Instrução normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, n. 249, 2019.

BRASIL, I. N. N. 14, de 08 de fevereiro de 2018. **Complementação dos padrões de identidade e qualidade do vinho e dos derivados da uva e do vinho. Diário Oficial da União. Brasília, DF**, 9, p. 4-6, 2018.

BROCHIER, B. Estudo da desidratação osmótica de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) usando solutos alternativos à sacarose. 2013.

BRUGNEROTTO, J.; LIZARDI, J.; GOYCOOLEA, F. M.; ARGÜELLES-MONAL, W. *et al.* An infrared investigation in relation with chitin and chitosan characterization. **Polymer**, 42, n. 8, p. 3569-3580, 2001.

BUCK, D. F. Antioxidants in soya oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 58, n. 3, p. 275-278, 1981.

CAETANO, P. K.; DAIUTO, É. R.; VIEITES, R. L. Característica físico-química e sensorial de geleia elaborada com polpa e suco de acerola. **Brazilian Journal of Food Technology**, 15, p. 191-197, 2012.

CAMPANA-FILHO, S. P.; BRITTO, D. d.; CURTI, E.; ABREU, F. R. *et al.* Extração, estruturas e propriedades de alfa-e beta-quitina. **Química Nova**, 30, p. 644-650, 2007.

CARVALHO, R. C. S. Desenvolvimento e caracterização de biomembranas à base de Cúrcuma Longa 1, Quercetina, Hidroxiapatita e Blenda Polimérica para regeneração óssea. 2022.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Editora da UNICAMP, 2003. 8526814729.

CECILIO FILHO, A. B.; SOUZA, R. J. d.; BRAZ, L. T.; TAVARES, M. Cúrcuma: planta medicinal, condimentar e de outros usos potenciais. **Ciência Rural**, 30, p. 171-177, 2000.

CHARLTON, T. S. A repeatable biofilm removal assay and its application in the assessment of commercial cleaning formulations for medical devices. **Healthcare infection**, 13, n. 4, p. 131-135, 2008.

CHATTERJEE, S.; DESAI, S. R. P.; THOMAS, P. Effect of γ -irradiation on the antioxidant activity of turmeric (*Curcuma longa* L.) extracts. **Food Research International**, 32, n. 7, p. 487-490, 1999.

CHEN, Z.; XIA, Y.; LIAO, S.; HUANG, Y. *et al.* Thermal degradation kinetics study of curcumin with nonlinear methods. **Food chemistry**, 155, p. 81-86, 2014.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Universidade Federal de Lavras Lavras, 2005.

CHO, E. J.; HOLBACK, H.; LIU, K. C.; ABOUELMAGD, S. A. *et al.* Nanoparticle characterization: state of the art, challenges, and emerging technologies. **Molecular pharmaceutics**, 10, n. 6, p. 2093-2110, 2013.

COLLINO, L. Curcumina: de especiaria à nutracêutico. 2014.

CONTRUCCI, B. A.; SILVA, R.; JUNIOR, R. A.; KOZUSNY-ANDREANI, D. I. Efeito de óleos essenciais sobre bactérias gram-negativas isoladas de alimentos. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, 23, n. 3, p. 180-184, 2019.

CRISTOFOLI, N.; ARAÚJO, M.; FREIRE, D.; MAIA, J., 2014, **Estimativa das perdas de frutas e hortiã § as em uma rede varejista de Fortaleza-CE**.

CZECHOWSKA-BISKUP, R.; JAROSIŃSKA, D.; ROKITA, B.; ULAŃSKI, P. *et al.* Determination of degree of deacetylation of chitosan-comparison of methods. **Progress on Chemistry and Application of Chitin and its Derivatives**, n. 17, p. 5-20, 2012.

DA COSTA SANTOS, L. J.; LUSTOSA, S. M. C.; VIANA, V. G. F.; DE MACÊDO, H. R. A. *et al.* Síntese e caracterização físico-química de biofilme de quitosana associado com extrato de *Cinnamomum zeylanicum*. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, 24, n. 2, p. 23-40, 2023.

DA SILVA ALVES, E.; DA SILVA, L. A.; SAQUETI, B. H. F.; ARTILHA, C. A. F. *et al.* Proteínas vegetais como alimentos funcionais-revisão/Vegetable proteins as functional foods—review. **Brazilian Journal of Development**, 6, n. 2, p. 5869-5879, 2020.

DAMIAN, C.; BEIRÃO, L. H.; FRANCISCO, A. d.; ESPÍRITO SANTO, M. L. P. *et al.* Quitosana: um amino polissacarídeo com características funcionais. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, 16, n. 2, p. 195-205, 2009.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. Artmed editora, 2018. 8582715463.

DANSAL, P.; KRUSONG, W., 2011a, **Effect of turmeric extract, fermented vinegar and their mixture on Salmonella Typhimurium reduction in vitro**.

DANSAL, P.; KRUSONG, W., 2011b, Singapore. **Effect of turmeric extract, fermented vinegar and their mixture on Salmonella Typhimurium reduction in vitro**. 81-85.

DASH, M.; CHIELLINI, F.; OTTENBRITE, R. M.; CHIELLINI, E. Chitosan—A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. **Progress in polymer science**, 36, n. 8, p. 981-1014, 2011.

DE ABREU MATOS, F. J. **Plantas medicinais: guia de seleção e emprego de plantas usadas em fitoterapia no Nordeste do Brasil**. UFC Edições, 2007. 857485008X.

DE ARAUJO, L. L. P.; ALVES, H. T.; DA SILVA LUZ, D.; DE ARAUJO, L. L. P. Conservação pós-colheita de acerola com revestimentos comestíveis. **PesquisAgro**, 7, n. 1, p. 44-56, 2023.

DE ARAÚJO, V. R.; SHIRAI, M. A. Aplicação de revestimento comestível de quitosana em brócolis minimamente processado. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, 34, n. 2, 2017.

DE FREITAS, R. V.; DE CARVALHO, J. V. D.; SILVEIRA, L. K. F.; DO NASCIMENTO, F. d. C. A. *et al.* Análise comparativa dos compostos bioativos do rizoma de açafrão in natura (*Curcuma longa* L.) e seu condimento comercial em pó. **Scientia Plena**, 19, n. 8, 2023.

DE JESUS FILHO, M.; MACIEL, K. S.; TEIXEIRA, L. J. Q.; JUNQUEIRA, M. S. Aplicação de revestimentos comestíveis para conservação de uvas. 2020.

DE MELLO, L. M. R.; MACHADO, C. A. E. Vitivinicultura brasileira: panorama 2019. **Comunicado Técnico**, 199, p. 1-7, 2020.

DE MELO BARROS, D.; DA SILVA, A. P. F.; DE MOURA, D. F.; CAVALCANTI, I. D. L. *et al.* Principais Técnicas de Conservação dos Alimentos. **Brazilian Journal of Development**, 6, n. 1, p. 806-821, 2020.

DE MELO, E. C. C.; FREIRE, B. C. F.; DE ARAÚJO, N. O.; BARBOSA, T. N. *et al.* Efeito de coberturas comestíveis a base de quitosana e extrato de romã em parâmetros de qualidade de queijo coalho. **Scientia Plena**, 19, n. 1, 2023.

DE OLIVEIRA FONSECA, M. J.; SOARES, A. G.; BARBOZA, H. T. G.; CARVALHO, M. A. G. *et al.* Uso de revestimento comestível para extensão da vida útil da goiaba ‘Pedro Sato’. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, 24, n. 2, p. 101-110, 2016.

DE OLIVEIRA, L. M.; OLIVEIRA, P. d. Main antimicrobial agents used in plastic packaging. **Brazilian Journal of Food Technology (Brazil)**, 2004.

DE PAULA, R. L.; MANIGLIA, B. C.; ASSIS, O. B. G. d.; TAPIA-BLACIDO, D. R. Evaluation of the turmeric dye extraction residue in the formation of protective coating on fresh bananas (*Musa acuminata* cv. ‘Maçã’). **Journal of food science and technology**, 55, p. 3212-3220, 2018.

DE SOUSA, R. M. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. 2010.

DE SOUZA BARBOSA, L.; MACEDO, J. L.; DOS SANTOS, C. M.; MACHADO, A. V. Estudo da secagem de frutos tropicais do nordeste. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 9, n. 1, p. 26, 2014.

DEL RÉ, P. V.; JORGE, N. Especiarias como antioxidantes naturais: aplicações em alimentos e implicação na saúde. **Revista brasileira de plantas medicinais**, 14, p. 389-399, 2012.

DELEZUK, J. A. d. M. Produção de quitosanas com características controladas utilizando a irradiação de ultrassom de alta intensidade. 2013.

DELGADO, A. Y. C.; VELÁSQUEZ, H. J. C.; MOLINA, D. A. R. Thermal and thermodynamic characterization of a dye powder from liquid turmeric extracts by spray drying. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, 69, n. 1, p. 7845-7854, 2016.

DEVIIENNE, K. F.; RADDI, M. S. G. Screening for antimicrobial activity of natural products using a microplate photometer. **Brazilian Journal of Microbiology**, 33, p. 166-168, 2002.

DEVILIEGHIERE, F.; VERMEULEN, A.; DEBEVERE, J. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. **Food microbiology**, 21, n. 6, p. 703-714, 2004.

DONSI, F.; WANG, Y.; LI, J. I.; HUANG, Q. Preparation of curcumin sub-micrometer dispersions by high-pressure homogenization. **Journal of agricultural and food chemistry**, 58, n. 5, p. 2848-2853, 2010.

DOS SANTOS, A. F.; DA SILVA, F. V. G.; LOPES, M. F.; VIEIRA, M. M. S. *et al.* Uso de biofilmes comestíveis na conservação pós-colheita de tomates e pimentões. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 6, n. 5, p. 22, 2011.

DOS SANTOS, A. M.; LEITE, I. F. Use of Bixa orellana and Curcuma longa L. as a Natural Protection Factor for Cotton Fabrics. **Fibers and Polymers**, 24, n. 9, p. 3195-3209, 2023.

DOS SANTOS, A. T.; TAMIASSO-MARTINHON, P.; ROCHA, Â. S.; SOUSA, C. *et al.* Experimentação em sala de aula: resultados de uma atividade simples realizada no nível médio para ensino de condutividade elétrica. **Scientia Naturalis**, 1, n. 3, 2019.

DUARTE, L. d. C.; JUCHEM, P. L.; PULZ, G. M.; BRUM, T. M. M. d. *et al.* Aplicações de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e sistema de energia dispersiva (EDS) no estudo de gemas exemplos brasileiros. **Pesquisas em Geociências. Porto Alegre, RS. Vol. 30, n. 2 (2003), p. 3-15., 2003.**

DUTTA, B. Study of secondary metabolite constituents and curcumin contents of six different species of genus Curcuma. **J. Med. Plants Stud**, 3, n. 5, p. 116-119, 2015.

DYRSSEN, D. W.; NOVIKOV, Y. P.; UPPSTRÖM, L. R. Studies on the chemistry of the determination of boron with curcumin. **Analytica Chimica Acta**, 60, n. 1, p. 139-151, 1972.

EG, B. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can J Biochem Physiol**, 39, p. 911-917, 1959.

ESTEVAM, L. d. S.; DEBONE, H. S.; YOSHIDA, C. M. P.; DA SILVA, C. F. Adsorption of bovine serum and bovine haemoglobin onto chitosan film. **Adsorption Science & Technology**, 30, n. 8-9, p. 785-792, 2012.

EZATI, P.; ROY, S.; RHIM, J.-W. Effect of saffron on the functional property of edible films for active packaging applications. **ACS Food Science & Technology**, 2, n. 8, p. 1318-1325, 2022.

FELIPINI, R. B.; DI PIERO, R. M. Redução da severidade da podridão-amarga de maçã em pós-colheita pela imersão de frutos em quitosana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44, p. 1591-1597, 2009.

FÉLIX, D. T.; RODRIGUES, A. A. M.; NASCIMENTO, J. H. B.; FERREIRA, T. d. O. *et al.* Dose de quitosana para aplicação pré-colheita em uva cv. Sweet Globe®: resultados preliminares. 2018.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos-: Princípios e Prática**. Artmed Editora, 2018. 8582715269.

FENG, F.; LIU, Y.; ZHAO, B.; HU, K. Characterization of half N-acetylated chitosan powders and films. **Procedia Engineering**, 27, p. 718-732, 2012.

FERNÁNDEZ-MARÍN, R.; FERNANDES, S. C. M.; ANDRÉS, M. A.; LABIDI, J. Microwave-assisted extraction of curcuma longa l. Oil: Optimization, chemical structure and composition, antioxidant activity and comparison with conventional soxhlet extraction. **Molecules**, 26, n. 6, p. 1516, 2021.

FERNANDEZ-SAIZ, P.; LAGARON, J. M.; OCIO, M. J. Optimization of the biocide properties of chitosan for its application in the design of active films of interest in the food area. **Food Hydrocolloids**, 23, n. 3, p. 913-921, 2009.

FERREIRA, E. M. M.; SOTTORIVA, H. M.; MELO, D. R.; ROCHA, M. S. *et al.* Propriedades e usos da cúrcuma. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, 22, n. 3, 2019.

FERREIRA, M. D.; FRAGALLE, E. P.; PORPINO, G. Perdas e desperdício: parcerias da ciência pelo alimento. **AgroANALYSIS**, 42, n. 1, p. 42-43, 2022.

FIGUEIREDO, J. S. L. d. Síntese e caracterização de copolímeros de polietilenoglicol monometil éter em quitosana cationizada para futuras aplicações em biotecnologia. 2014.

FONSECA, J. P. C. G. Q. Revestimentos Comestíveis à Base de Quitosano e Cera de Abelha: Aplicação Na Conservação de Uva de Mesa. 2012.

FONTES, S. M. S. Curcuma longa L.: Caracterização química e estudo da capacidade antioxidante. 2018.

FRÁGUAS, R. M.; ROCHA, D. A.; QUEIROZ, E. d. R.; ABREU, C. M. P. d. *et al.* Caracterização química e efeito cicatrizante de quitosana, com baixos valores de massa molar e grau de acetilação, em lesões cutâneas. **Polímeros**, 25, p. 205-211, 2015.

FRANCO, A. L. P.; OLIVEIRA, T. B.; FERRI, P. H.; BARA, M. T. F. *et al.* Avaliação da composição química e atividade antibacteriana dos óleos essenciais de *Aloysia gratissima* (Gillies & Hook) Tronc.(Alfazema), *Ocimum gratissimum* L.(Alfavaca-Cravo) e *Curcuma longa* L.(Açafrão). 2007.

FRANCO, B.; LANDGRAF, M. Microbiologia dos alimentos. Editora Atheneu, São Paulo. 2008.

FREEPONS, D. Enhancing food production with chitosan seed-coating technology. *In: Applications of Chitan and Chitosan*: CRC Press, 2020. p. 128-139.

GAO, P.; ZHU, Z.; ZHANG, P. Effects of chitosan–glucose complex coating on postharvest quality and shelf life of table grapes. **Carbohydrate polymers**, 95, n. 1, p. 371-378, 2013.

GARCÍA ARIZA, L. L.; OLAYA MONTES QUIM, J. H.; SIERRA ACEVEDO, J. I.; PADILLA SANABRIA, L. Actividad biológica de tres Curcuminoides de *Curcuma longa* L.(Cúrcuma) cultivada en el Quindío-Colombia. **Revista Cubana de plantas medicinales**, 22, n. 1, p. 0-0, 2017.

GARCIA, D. G.; SANTOS, K. O.; FREITAS, K. F. D.; CARDOSO, M. J. B. *et al.* Síntese de Nanopartículas de Prata pela Técnica de Eletrodeposição para Desenvolvimento de Biossensores. **Brazilian Journal of Development**, 7, n. 3, p. 31130-31145, 2021.

GONÇALVES, E. S.; MARQUES, M. H. M.; LUCCA, P. S. R. A segurança alimentar e os consultores: um breve estudo sobre a *Escherichia Coli*. **Revista CESUMAR–Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**, 7, n. 1, p. 7-29, 2002.

GONÇALVES, V. S. S.; CHAVES, O. C.; RIBEIRO, S. M. R.; FRANCESCHINI, S. d. C. C. *et al.* Disponibilidade domiciliar de lipídeos para consumo e sua relação com os lipídeos séricos de adolescentes. **Revista Paulista de Pediatria**, 30, p. 229-236, 2012.

GONSALVES, A. d. A.; ARAÚJO, C. R. M.; SOARES, N. A.; GOULART, M. O. F. *et al.* Diferentes estratégias para a reticulação de quitosana. **Química Nova**, 34, p. 1215-1223, 2011.

GORAYEB, T. C. C.; MARTINS, F. H.; COSTA, M. V. C. G.; JUNIOR, J. G. C. *et al.* Estudo das perdas e desperdício de frutas no Brasil. **Anais Sintagro**, 11, n. 1, 2019.

GOVINDARAJAN, V. S.; STAHL, W. H. Turmeric—chemistry, technology, and quality. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, 12, n. 3, p. 199-301, 1980.

GRANDI, T. S. M. Tratado das plantas medicinais: mineiras, nativas e cultivadas. **Belo Horizonte: Adaequatio Estúdio**, p. 1076-1077, 2014.

GUERRA, C. C.; DAUD, C. E.; RIZZON, L. A. Evolução dos teores dos ácidos tartárico e málico durante a maturação de uvas tintas. 1992.

GUL, P.; BAKHT, J. Antimicrobial activity of turmeric extract and its potential use in food industry. **Journal of food science and technology**, 52, p. 2272-2279, 2015.

HAN, C.; LEDERER, C.; MCDANIEL, M.; ZHAO, Y. Sensory evaluation of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) coated with chitosan-based edible coatings. **Journal of Food Science**, 70, n. 3, p. S172-S178, 2005.

HOROSANSKAIA, E.; YUAN, L.; SEIDEL-MORGENSTERN, A.; LORENZ, H. Purification of curcumin from ternary extract-similar mixtures of curcuminoids in a single crystallization step. **Crystals**, 10, n. 3, p. 206, 2020.

ISMAIL, K. A.; EL ASKARY, A.; FAREA, M. O.; AWWAD, N. S. *et al.* Perspectives on composite films of chitosan-based natural products (Ginger, Curcumin, and Cinnamon) as biomaterials for wound dressing. **Arabian Journal of Chemistry**, 15, n. 4, p. 103716, 2022.

JANNAH, R.; RAFI, M.; HERYANTO, R.; KAUTSAR, A. *et al.* UV-Vis spectroscopy and chemometrics as a tool for identification and discrimination of four *Curcuma* species. **International Food Research Journal**, 25, n. 2, 2018.

JASIM, F.; ALI, F. Measurements of some spectrophotometric parameters of curcumin in 12 polar and nonpolar organic solvents. **Microchemical journal**, 39, n. 2, p. 156-159, 1989.

JAY, J. M.; LOESSNER, M. J.; GOLDEN, D. A. **Modern food microbiology**. Springer Science & Business Media, 2008. 0387234136.

KALAYCIÖĞLU, Z.; TORLAK, E.; AKIN-EVINGÜR, G.; ÖZEN, İ. *et al.* Antimicrobial and physical properties of chitosan films incorporated with turmeric extract. **International journal of biological macromolecules**, 101, p. 882-888, 2017.

KARIMI, N.; GHANBARZADEH, B.; HAJIBONABI, F.; HOJABRI, Z. *et al.* Turmeric extract loaded nanoliposome as a potential antioxidant and antimicrobial nanocarrier for food applications. **Food Bioscience**, 29, p. 110-117, 2019.

KARIMI, N.; GHANBARZADEH, B.; HAJIBONABI, F.; HOJABRI, Z. *et al.* Turmeric extract loaded nanoliposome as a potential antioxidant and antimicrobial nanocarrier for food applications. *Food Biosci* 29: 110–117. 2019.

KILVINGTON, S.; SHOVLIN, J.; NIKOLIC, M. Identification and susceptibility to multipurpose disinfectant solutions of bacteria isolated from contact lens storage cases of patients with corneal infiltrative events. *Cont Lens Anterior Eye*. v. 36, n. 6, p. 294-298, 2013.

KIM, C. H.; CHOI, J. W.; CHUN, H. J.; CHOI, K. S. Synthesis of chitosan derivatives with quaternary ammonium salt and their antibacterial activity. **Polymer Bulletin**, 38, p. 387-393, 1997.

KIM, M.-K.; CHOI, G.-J.; LEE, H.-S. Fungicidal property of Curcuma longa L. rhizome-derived curcumin against phytopathogenic fungi in a greenhouse. **Journal of agricultural and food chemistry**, 51, n. 6, p. 1578-1581, 2003.

KIM, S. W.; GARCIA, C. V.; LEE, B. N.; KWON, H. J. *et al.* Development of turmeric extract nanoemulsions and their incorporation into canned ham. **Korean journal for food science of animal resources**, 37, n. 6, p. 889, 2017.

LAMPE, V.; MILOBEDZKA, J.; KOSTANECKI, V. Structure of curcumin. **Ber. Dtsch. Chem. Ges**, 43, p. 2163-2170, 1910.

LARANJEIRA, M.; FÁVERE, V. T. d. Quitosana: biopolímero funcional com potencial industrial biomédico. **Química Nova**, 32, p. 672-678, 2009.

LEANDRO, S. L. P.; TORMEN, L. INVESTIGAÇÃO DE EXTRATOS DE AÇAFRÃO DA TERRA (Cúrcuma longa) PARA USO COMO ANTIOXIDANTE NATURAL EM PRODUTOS ALIMENTÍCIOS. **JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA**, 1, n. 9, 2019.

LEITZKE, A. F.; BERNEIRA, L. M.; ROSA, B. N. d.; MOREIRA, B. C. *et al.* A Química de Produtos Naturais aplicados a reveladores de impressões digitais latentes. **Química Nova**, 45, p. 424-434, 2022.

LEMES, G. F. Caracterização reológica de soluções filmogênicas e sua aplicação na qualidade pós-colheita de uvas. 2016.

LEONARDI, J. G.; AZEVEDO, B. M. Métodos de conservação de alimentos. **Revista Saúde em foco**, 10, n. 1, p. 51-61, 2018.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; CEREDA, M. P. New starches for the food industry: Curcuma longa and Curcuma zedoaria. **Carbohydrate Polymers**, 54, n. 3, p. 385-388, 2003.

LIANOU, A., PANAGOU, E. Z. & NYCHAS, G. E. Microbiological Spoilage of Foods and Beverages. in *The Stability and Shelf Life of Food* (ed. Subramaniam, P.) 3–42 (Woodhead Publishing, 2016).

LIMA, E. O. A. d. *Curcuma longa* L.: uma revisão sobre composição química e atividades biológicas in vitro. 2020.

LIRA, A. L.; VESOLOSKI, J. F.; PERUZZOLO, M.; FLÔRES, D. Z. *et al.* Atividades antioxidante, antimicrobiana e compostos fenólicos de extratos comercial e in natura de *Curcuma longa*. **Revista Perspectiva**, 45, n. 169, p. 107-114, 2021.

LUTZ–OAL, O. A. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **São Paulo: OAL**, 2008.

MADIAN, N. G.; EL-ASHMANTY, B. A.; ABDEL-RAHIM, H. K. Improvement of Chitosan Films Properties by Blending with Cellulose, Honey and Curcumin. **Polymers**, 15, n. 12, p. 2587, 2023.

MAIA, J. D. G.; RITSCHER, P.; CAMARGO, U. A.; SOUZA, R. T. d. *et al.* 'BRS Vitória'-a novel seedless table grape cultivar exhibiting special flavor and tolerance to downy mildew (*Plasmopara viticola*). **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 14, p. 204-206, 2014.

MAIA, J. D. G.; RITSCHER, P. S.; CAMARGO, U. A.; DE SOUZA, R. T. *et al.* 'BRS Vitória': nova cultivar de uva de mesa sem sementes com sabor especial e tolerante ao míldio. 2012.

MAIA, J. D. G.; RITSCHER, P. S.; CAMARGO, U. A.; DE SOUZA, R. T. *et al.* BRS Vitória: uma alternativa de sucesso para produtores do Norte do Paraná. 2015.

MAIA, L. H.; PORTE, A.; DE SOUZA, V. F. Filmes comestíveis: aspectos gerais, propriedades de barreira a umidade e oxigênio. **Boletim do Centro de pesquisa de Processamento de Alimentos**, 18, n. 1, 2000.

MANIGLIA, B. C. Elaboração de filmes biodegradáveis a partir do resíduo da extração do pigmento de *Curcuma*. 2012.

MARCHI, J. P.; TEDESCO, L.; DA CRUZ MELO, A.; FRASSON, A. C. *et al.* *Curcuma longa* L., o açafrão da terra, e seus benefícios medicinais. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, 20, n. 3, 2016.

MARMITT, D. J.; REMPEL, C.; GOETTERT, M. I.; DO COUTO, A. Análise da produção científica do *Curcuma longa* L.(açafrão) em três bases de dados após a criação da RENISUS. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, 7, n. 1, p. 7-7, 2016.

MARTINS, M. C.; RUSIG, O. Cúrcuma: um corante natural. **Boletim SBCTA**, 26, n. 1, p. 53-65, 1992.

MARTINS, M. R. S. F.; MARTINS, A. M. D.; DA SILVA, M. A. P.; CAPPATO, L. P. Avaliação dos índices de desperdício de alimentos em UAN militar de médio porte. **RBONE-Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, 18, n. 113, p. 275-284, 2024.

MASEK, A.; CHRZESCIJANSKA, E.; ZABORSKI, M. Characteristics of curcumin using cyclic voltammetry, UV-vis, fluorescence and thermogravimetric analysis. **Electrochimica Acta**, 107, p. 441-447, 2013.

MASSIMINO, L. C. Nanopartículas de curcumina: obtenção e caracterização. 2016.

MATHAI, C. K. Variability in turmeric (*Curcuma* species) germplasm for essential oil and curcumin. **Qualitas Plantarum**, 25, n. 3-4, p. 227-230, 1976.

MATTIUZ, B.-H.; MIGUEL, A. C. A.; GALATI, V. C.; NACHTIGAL, J. C. Efeito da temperatura no armazenamento de uvas apirênicas minimamente processadas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 31, p. 44-52, 2009.

MENEGUZZO, J.; RIZZON, L. A.; MIELE, A.; AYUB, M. A. Z. Efeito de *Botrytis cinerea* na composição do vinho Gewürztraminer. **Food Science and Technology**, 26, p. 527-532, 2006.

MESSA, L. L.; FROES, J. D.; SOUZA, C. F.; FAEZ, R. Híbridos de quitosana-argila para encapsulamento e liberação sustentada do fertilizante nitrato de potássio. **Química Nova**, 39, p. 1215-1220, 2016.

MONTEIRO, S. S. Caracterização química da casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), avaliação de seus extratos e aplicação em linguiça de frango para aumento do shelf life. 2013.

MORADI, M.; TAJIK, H.; ROHANI, S. M. R.; OROMIEHIE, A. R. *et al.* Characterization of antioxidant chitosan film incorporated with *Zataria multiflora* Boiss essential oil and grape seed extract. **LWT-Food Science and Technology**, 46, n. 2, p. 477-484, 2012.

MORETES, D. N.; GERON, V. L. M. G. Os benefícios medicinais da *Curcuma longa* L.(Açafrão da terra). 2019.

MUKERJEE, A.; VISHWANATHA, J. K. Formulation, characterization and evaluation of curcumin-loaded PLGA nanospheres for cancer therapy. **Anticancer research**, 29, n. 10, p. 3867-3875, 2009.

NAKAI, J. Food and Agriculture Organization of the United Nations and the sustainable development goals. **Sustainable development**, 22, p. 1-450, 2018.

NANDITHA, B. R.; JENA, B. S.; PRABHASANKAR, P. Influence of natural antioxidants and their carry-through property in biscuit processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 89, n. 2, p. 288-298, 2009.

NAVES, P. L. F.; SANTANA, D. P.; RIBEIRO, E. L.; MENEZES, A. C. S. Novas abordagens sobre os fatores de virulência de *Candida albicans*. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, 12, n. 2, p. 229-233, 2013.

NETO, B.; OLIVEIRA, A. Avaliação de coberturas comestíveis à base de quitosana e curcumina na qualidade pós-colheita de uvas benitaka. 2016.

NICOLAU, P. B. Microrganismos e crescimento microbiano. 2014.

NOMURA, D. A.; ENOKI, T. A.; GOLDMAN, C.; LAMY, M. T. Espalhamento dinâmico de luz. **Apostila para a 2ª Escola de Colóides da USP**, p. 1-18, 2014.

OLIVEIRA, M. A. d.; YOSHIDA, M. I.; LIMA GOMES, E. C. d. Análise térmica aplicada a fármacos e formulações farmacêuticas na indústria farmacêutica. **Química Nova**, 34, p. 1224-1230, 2011.

OLIVEIRA, T. C. R. M.; SILVA, M. P.; CAVALLI, D. R. Coliforms at 45°C and comparison of most probable number method and Petrifilm EC for enumeration of total coliforms and *Escherichia coli* of foods. *Food Science and Technology*, n. 24, v.2, p. 352-359, 2006.

OLIVEIRA, V. P.; GHIRALDINI, J. E.; SACRAMENTO, C. K. O cultivo de plantas produtoras de corantes. **Revista Brasileira de Corantes Naturais**, 1, n. 1, p. 232-237, 1992.

OSAWA, C. C.; GONÇALVES, L. A. G.; RAGAZZI, S. Titulação potenciométrica aplicada na determinação de ácidos graxos livres de óleos e gorduras comestíveis. **Química Nova**, 29, p. 593-599, 2006.

PANDEY, K. B.; RIZVI, S. I. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. **Oxidative medicine and cellular longevity**, 2, p. 270-278, 2009.

PANGESTI, D. P.; MASRURI, M., **Consistency of Spectra and Antibacterial Activity of The Extract Mixture of Curcuma longa, Zingiber officinale, and Syzigium aromaticum**. IOP Publishing. 012033.

PARIZE, A. L. Desenvolvimento de sistemas microparticulados e de filmes a base de quitosana e corante natural cúrcuma. 2012.

PARK, S. J.; HONG, S. J.; GARCIA, C. V.; LEE, S. B. *et al.* Stability evaluation of turmeric extract nanoemulsion powder after application in milk as a food model. **Journal of food engineering**, 259, p. 12-20, 2019.

PAWAR, Y. B.; SHETE, G.; POPAT, D.; BANSAL, A. K. Phase behavior and oral bioavailability of amorphous Curcumin. **European journal of pharmaceutical sciences**, 47, n. 1, p. 56-64, 2012.

PEDRO JÚNIOR, M. J.; HERNANDES, J. L.; BLAIN, G. C.; BARDIN-CAMPAROTTO, L. Curva de maturação e estimativa do teor de sólidos solúveis e acidez total em função de graus-dia: uva IAC 138-22'Máximo'. **Bragantia**, 73, p. 81-85, 2014.

PEREIRA, A. S.; STRINGHETA, P. C. Considerações sobre a cultura e processamento do açafrão. **Horticultura Brasileira**, 16, p. 102-105, 1998.

PÉRET-ALMEIDA, L.; CHERUBINO, A. P. F.; ALVES, R. J.; DUFOSSÉ, L. *et al.* Separation and determination of the physico-chemical characteristics of curcumin, demethoxycurcumin and bisdemethoxycurcumin. **Food Research International**, 38, n. 8-9, p. 1039-1044, 2005.

PETER, M. G. Applications and environmental aspects of chitin and chitosan. **Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry**, 32, n. 4, p. 629-640, 1995.

PIANOVSKI, A. R.; VILELA, A. F. G.; SILVA, A. A. S. d.; LIMA, C. G. *et al.* Uso do óleo de pequi (*Caryocar brasiliense*) em emulsões cosméticas: desenvolvimento e avaliação da estabilidade física. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, 44, p. 249-259, 2008.

PLANTE, A. F.; FERNÁNDEZ, J. M.; LEIFELD, J. Application of thermal analysis techniques in soil science. **Geoderma**, 153, n. 1-2, p. 1-10, 2009.

POMPEU, L.; SANTOS, G. L.; PANDOLFELLI, V. C.; OLIVEIRA, I. R. Calcium aluminates potential for endodontics and orthopedic applications. **Cerâmica**, 59, p. 216-224, 2013.

QI, L.; XU, Z.; JIANG, X.; HU, C. *et al.* Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. **Carbohydrate research**, 339, n. 16, p. 2693-2700, 2004.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química nova**, p. 755-760, 2006.

RAMOS, B. F. G.; FORTE, M. P. d. N. Estudo da ação antifúngica da Quitosana sobre leveduras do gênero *Candida*. 2015.

RIBEIRO, T. P.; DE LIMA, M. A. C.; DE SOUZA, S. O.; ARAÚJO, J. L. P. Perdas pós-colheita em uva de mesa registradas em casas de embalagem e em mercado distribuidor. **Revista Caatinga**, 27, n. 1, p. 67-74, 2014.

RODRÍGUEZ, D.; GARCÍA, M. A.; DE LA PAZ, N.; BADILLO, P. A. *et al.* Effect of the Addition of Turmeric Hydroalcoholic Extract on Physicochemical Properties of Chitosan Films and Shelf Life Extension of Minimally Processed Pineapple. **Journal of Packaging Technology and Research**, 5, n. 3, p. 185-200, 2021.

RODRÍGUEZ, E. T.; SANTISTEBAN, R. M.; GALARDIS, M. B.; ESPINOSA, R. H. *et al.* Chemical modification of natural curcumin isolated from rhizomes of *Curcuma longa* L. **Advancement in Medicinal Plant Research**, 2, n. 2, p. 20-23, 2014.

ROHMAN, A.; RAMADHANI, D.; NUGROHO, A. Analysis of curcumin in *Curcuma longa* and *Curcuma xanthorrhiza* using FTIR spectroscopy and chemometrics. **Research Journal of Medicinal Plant**, 9, n. 4, p. 179-186, 2015.

SALMAN, Y. A. K.; ABDULLAH, O. G.; HANNA, R. R.; AZIZ, S. B. Conductivity and electrical properties of chitosan-methylcellulose blend biopolymer electrolyte incorporated with lithium tetrafluoroborate. **Int. J. Electrochem. Sci**, 13, n. 4, p. 3185-3199, 2018.

SANTOS, A. B.; OLIVEIRA, S. P. Utilização de açafrão (*Curcuma longa* L.) como corante natural para alimentos. **Boletim da SBCTA, Campinas**, 2, n. 25, p. 90, 1991.

SANTOS, A. M. P.; DE ALMEIDA MELO, E. Application of edible biopolymer coatings to extend the storage life of fresh fruits and vegetables. *In: Biopolymer Membranes and Films*: Elsevier, 2020. p. 505-513.

SANTOS, D. S.; NASCIMENTO, E. H. d.; SILVA, M. G.; ASBEQUE, D. R. P. F. *et al.* Determinação do teor de compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante de cúrcuma orgânica comercial. **Farmacologia aplicada à enfermagem: aspectos teóricos e práticos**, 1, n. 1, p. 61-72, 2021.

SANTOS, V. S.; SANTOS, V. S. d.; FERNANDES, R. d. S.; FERREIRA JÚNIOR, C. R. *et al.* Avaliação e caracterização de biofilme comestível de carboximetilcelulose contendo nanopartículas de quitosana e Cúrcuma longa. **Matéria (Rio de Janeiro)**, 26, p. e12926, 2021.

SCHAEFER, E. W.; PAVONI, J. M. F.; LUCHESE, C. L.; FACCIN, D. J. L. *et al.* Influence of turmeric incorporation on physicochemical, antimicrobial and mechanical properties of the cornstarch and chitosan films. **International journal of biological macromolecules**, 148, p. 342-350, 2020.

SEDYADI, E.; SULISTYOWATI, A.; KUSUMAWATI, M.; NUGRAHA, I. *et al.*, 2019, **Utilization of ginger extract (Zingiber Officinale) and turmeric extract (Curcuma longa) as edible tomato-packing film**. IOP Publishing, 2019. 012023.

SHI, C.; ZHU, Y.; RAN, X.; WANG, M. *et al.* Therapeutic potential of chitosan and its derivatives in regenerative medicine. **Journal of Surgical research**, 133, n. 2, p. 185-192, 2006.

SILVA, H. S. R.; DOS SANTOS, K. S. C. R.; FERREIRA, E. I. Quitosana: derivados hidrossolúveis, aplicações farmacêuticas e avanços. **Química nova**, 29, p. 776-785, 2006.

SILVA, J. F. M.; FEITOSA, A. C.; RODRIGUES, R. M. Staphylococcus aureus em alimentos. **DESAFIOS-Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins**, 4, n. 4, p. 15-31, 2017.

SILVA, L. d. M.; BARROS, V. P. G. d. A relação entre a alimentação da mulher contemporânea e a ocorrência de candidíase: uma revisão da literatura. 2020.

SILVA, R. S. d.; SILVA, S. d. M.; DANTAS, A. L.; MENDONÇA, R. M. N. *et al.* Qualidade de uva 'Isabel' tratada com cloreto de cálcio em pós-colheita e armazenada sob atmosfera modificada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 34, p. 50-56, 2012.

SKINNER, K. A.; LEATHERS, T. D. Bacterial contaminants of fuel ethanol production. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, 31, n. 9, p. 401-408, 2004.

SMITH, M. C.; CRIST, R. M.; CLOGSTON, J. D.; MCNEIL, S. E. Zeta potential: a case study of cationic, anionic, and neutral liposomes. **Analytical and bioanalytical chemistry**, 409, p. 5779-5787, 2017.

SOGI, D. S.; SHARMA, S.; OBEROI, D. P. S.; WANI, I. A. Effect of extraction parameters on curcumin yield from turmeric. **Journal of food science and technology**, 47, p. 300-304, 2010.

SOUZA, J. P. N. AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS PARA A PRODUÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE QUITOSANA. 2023.

SUETH-SANTIAGO, V.; MENDES-SILVA, G. P.; DECOTÉ-RICARDO, D.; LIMA, M. E. F. d. Curcumina, o pó dourado do açafrão-da-terra: introspecções sobre química e atividades biológicas. **Química Nova**, 38, p. 538-552, 2015.

SUN, X.; NARCISO, J.; WANG, Z.; FERENC, C. *et al.* Effects of chitosan-essential oil coatings on safety and quality of fresh blueberries. **Journal of food science**, 79, n. 5, p. M955-M960, 2014.

TUNG, B. T.; HAI, N. T.; SON, P. K. Hepatoprotective effect of Phytosome Curcumin against paracetamol-induced liver toxicity in mice. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, 53, 2017.

VAEZIFAR, S.; RAZAVI, S.; GOLOZAR, M. A.; KARBASI, S. *et al.* Effects of some parameters on particle size distribution of chitosan nanoparticles prepared by ionic gelation method. **Journal of Cluster Science**, 24, p. 891-903, 2013.

VASQUES, C. T. Preparação e caracterização de filmes poliméricos a base de amido de milho e polipirrol para aplicação como biomaterial. 2007.

VIASAN, A. C.; NIRMALA MENON, A.; MADHUSUDHANA RAO, I.; NARAYANAN, C. S. *et al.* Chemical analysis of some cultivars of *Curcuma longa* linn. **Journal of food science and technology (Mysore)**, 26, n. 5, p. 293-295, 1989.

VICHAKSHANA, G. A. D.; FOO, S. C.; CHOO, W. S. Impact of high-pressure homogenization pretreatment on recovery of curcumin from turmeric by different combinations of extraction and drying methods. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 83, p. 103249, 2023.

VILLADIEGO, A. M. D.; SOARES, N. d. F. F.; ANDRADE, N. J. d.; PUSCHMANN, R. *et al.* Filmes e revestimentos comestíveis na conservação de produtos alimentícios. 2005.

WAKTE, P. S.; SACHIN, B. S.; PATIL, A. A.; MOHATO, D. M. *et al.* Optimization of microwave, ultra-sonic and supercritical carbon dioxide assisted extraction techniques for curcumin from *Curcuma longa*. **Separation and purification technology**, 79, n. 1, p. 50-55, 2011.

WAN, Y.; CREBER, K. A. M.; PEPPLEY, B.; BUI, V. T. Ionic conductivity of chitosan membranes. **Polymer**, 44, n. 4, p. 1057-1065, 2003.

YANG, C.; LU, J.-H.; XU, M.-T.; SHI, X.-C. *et al.* Evaluation of chitosan coatings enriched with turmeric and green tea extracts on postharvest preservation of strawberries. **Lwt**, 163, p. 113551, 2022.

YANG, Q.-Q.; CHENG, L.-Z.; ZHANG, T.; YARON, S. *et al.* Phenolic profiles, antioxidant, and antiproliferative activities of turmeric (*Curcuma longa*). **Industrial crops and products**, 152, p. 112561, 2020.

YANG, Z.; ZHENG, S.; RUI, Z.; FANG, Y. *et al.* Enhanced separation and purification of curcuminoids on polyamide column via noncovalent interactions. **Separation and Purification Technology**, 152, p. 155-159, 2015.

YASSUE-CORDEIRO, P. H.; ZANDONAI, C. H.; SILVA, C. F. d.; FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Desenvolvimento e caracterização de filmes compósitos de quitosana e zeólitas com prata. **Polímeros**, 25, p. 492-502, 2015.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. *In*: **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**, 2005. p. 1018-1018.

ZHENG, L.-Y.; ZHU, J.-F. Study on antimicrobial activity of chitosan with different molecular weights. **Carbohydrate polymers**, 54, n. 4, p. 527-530, 2003.

APÊNDICE 1

Figura 43: Perda de massa da USR e das uvas recobertas com os extratos ao longo de 21 dias (com barra de erro)

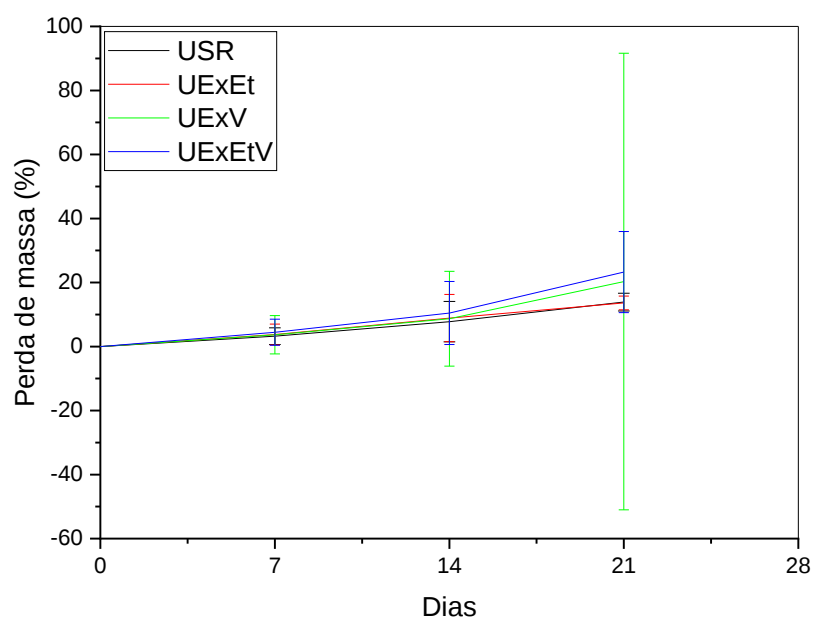


Figura 44: Perda de massa da USR, UQBase e das uvas recobertas com a mistura quitosana:extrato ao longo de 21 dias (com barra de erro)

