



**JOÃO GABRIEL MOREIRA DA SILVA**

**ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS  
DE ALGINATO E MESOCARPO DE COCO BABAÇU  
CONTENDO *Curcuma longa L.***

**JOÃO GABRIEL MOREIRA DA SILVA**

**ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS  
DE ALGINATO E MESOCARPO DE COCO BABAÇU  
CONTENDO *Curcuma longa L.***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Curso da Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Química.

Orientador (a): Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Audirene Amorim Santana

São Luís – MA  
2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Moreira da Silva, João Gabriel.

Elaboração e Caracterização de Biopolímeros de Alginato e Mesocarpo de Coco Babaçu Contendo Curcuma longa L / João Gabriel Moreira da Silva. - 2022.

75 f.

Orientador(a): Audirene Amorim Santana.

Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, 2022.

1. Alginato. 2. Biodegradável. 3. Biopolímero. 4. Cúrcuma. 5. Mesocarpo de Coco Babaçu. I. Amorim Santana, Audirene. II. Título.

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. AUDIRENE AMORIM SANTANA  
Orientadora – COEQ/CCET/UFMA

Prof. Dr. LOURYVAL COELHO PAIXÃO  
BICT/UFMA

Eng. FERNANDA HELLEN DE SOUZA SANTOS  
PPGAERO/UFMA

**28 de janeiro de 2022**

*Dedico este trabalho aos meus quatro anjos:  
minha mãe Domingas, por tudo e por tanto, ao  
meu pai Milton (in memoriam), ao meu padrasto  
José e a minha tia Felizarda por toda  
oportunidade dada.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, acima de tudo e primeiramente a Deus, por sempre tomar conta de mim, das minhas decisões e por sempre me proteger e me dar coragem, força e ânimo para seguir em frente. Agradeço também por sempre ouvir minhas orações e por ter me dado sabedoria para enfrentar os momentos difíceis.

À minha mãe, Domingas, por estar sempre ao meu lado. Por todo suporte, carinho, compreensão e oportunidades. Agradeço por me dar motivos para correr atrás dos sonhos e pelo incentivo. Obrigado por tudo! Amo-te!

Ao meu pai, Milton (*in memoriam*), por ter me ajudado tanto. Mesmo de longe tinha uma presença enorme em minha vida. Sei que continua torcendo por mim.

À minha tia Felizarda, sem ela tudo seria tão mais difícil. Agradeço por tudo, pelo carinho, compreensão e pela oportunidade de me manter em São Luís. Foi mais que uma tia, foi uma mãe.

Ao meu Padrasto, José de Matos, por ser um pai. Obrigado por cada ajuda, por cada conversa. Obrigado por tudo.

Agradeço à minha orientadora, professora Dr<sup>a</sup>. Audirene Amorim Santana pela paciência, disponibilidade, apoio, conhecimento e confiança. Obrigado por fazer tudo dar certo!

Agradeço aos meus amigos de curso e de vida, especialmente a Mirian Reis, Maria Stefanie, Dielson Muniz, Mauricio Dorneles, Rayssa Nogueira, Flaudiner Junior, Luciene Bastos, Ludmila Santos, Ana Nathalia, Bianca Oliveira, pela parceria, pela companhia nos momentos turbulentos, por aguentarem meus dramas, minhas reclamações, por me apoiarem, por sempre estarmos unidos em tudo um ajudando o outro, graças a isso conseguimos chegar até aqui.

Agradeço a Fernanda Hellen, que conheci quase no fim no curso e foi essencial desde então. Me aguentou bastante e vem me ajudando sempre.

Agradeço também a todos do LEPPBio – Laboratório de Engenharia de Produtos e Processos em Biorrecursos, por todo conhecimento, paciência e disponibilidade. Agradeço especialmente ao Carlos Henrique, por todo auxílio, a Ana Raposo pela assistência e pela disponibilidade de ajudar.

À toda a minha família e amigos!

***Lembre-se da minha ordem: “seja forte e corajoso!  
Não fique desanimado nem tenha medo, porque eu,  
o eterno, o seu Deus, estarei com você em qualquer  
lugar, para onde você for!”***

***(JOSUÉ 1:9)***

SILVA, J. G. M. **Elaboração e caracterização de biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu contendo *Curcuma longa* L.**. 2022. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

## RESUMO

Nos últimos anos, o consumo excessivo de resíduos sólidos como as embalagens plásticas, por exemplo, vem se tornando um problema mundial pelo fato de materiais dessa classe serem descartados irregularmente no meio ambiente e pelo seu grande tempo de decomposição. Arelado a isso surgiu a necessidade de se estudar alternativas para contornar tais problemas, dessa forma, materiais chamados biodegradáveis são desenvolvidos como alternativa para os resíduos plásticos. Esses biopolímeros são provenientes de organismos vivos e até mesmo obtidos a partir de recursos renováveis como os polissacarídeos, lipídios e proteínas, por exemplo. Eles vêm ganhando grande potencial como agentes protetores de alimentos e revestimentos comestíveis, evitando a proliferação de microrganismos indesejados. Logo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a caracterização de biopolímeros confeccionados a partir de alginato, mesocarpo de coco babaçu contendo cúrcuma (*Curcuma longa*. L.) conferindo-lhes atividade antioxidante. Esse processo se deu pelo método *casting*. Os filmes foram obtidos a partir do Delineamento Composto Central Rotacional, com 11 ensaios, variando a concentração de cúrcuma e mesocarpo do coco babaçu, tendo como respostas o teor umidade, solubilidade, espessura, permeabilidade ao vapor de água, propriedades mecânicas e carotenoides totais. A incorporação da cúrcuma aos filmes proporcionou um aumento na capacidade antioxidante destes, sem significativas alterações das características físico-químicas, tendo assim, potencial para utilização como filme com característica antioxidante e como embalagem biodegradável.

**Palavras-chave:** Biopolímero. Biodegradável. Alginato. Mesocarpo de Coco Babaçu. Cúrcuma.



SILVA, J. G. M. **Elaboration and characterization of alginate and mesocarp biopolymers from babassu coconut containing *Curcuma longa* L.** 2022. 75 f. Graduate Work (Graduate in Chemical Engineering) – Curso de Engenharia do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

### ABSTRACT

In recent years, the excessive consumption of solid waste such as plastic packaging, for example, has become a worldwide problem due to the fact that materials of this class are irregularly discarded in the environment and due to their long decomposition time. Linked to this came the need to study alternatives to circumvent such problems, in this way, materials called biodegradable are developed as an alternative to plastic waste. These biopolymers come from living organisms and even obtained from renewable resources such as polysaccharides, lipids and proteins, for example. They have been gaining great potential as protective agents for food and edible coatings, preventing the proliferation of unwanted microorganisms. Therefore, the objective of this work was to evaluate the characterization of biopolymers made from alginate, babassu coconut mesocarp containing turmeric (*Curcuma longa* L.) conferring them antioxidant activity. This process was carried out by the casting method. The films were obtained from the Central Composite Rotational Design, with 11 tests, varying the concentration of turmeric and babassu coconut mesocarp, having as answers the moisture content, solubility, thickness, water vapor permeability, mechanical properties and total carotenoids. The incorporation of turmeric into the films provided an increase in their antioxidant capacity, without significant changes in the physicochemical characteristics, thus having the potential for use as a film with antioxidant characteristics and as a biodegradable packaging.

**Keywords:** Biopolymer. Biodegradable. Alginate. Babassu coconut mesocarp. Turmeric.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> – Composição estrutural do alginato: (a) ácido manurônico; (b) ácido gulurônico; (c) ácido manurônico e ácido gulurônico consecutivos.....   | 6  |
| <b>Figura 2</b> – As quatro partes do coco babaçu.....   | 7  |
| <b>Figura 3</b> – <i>Curcuma longa L</i> (Rizoma e pó) .....   | 8  |
| <b>Figura 4</b> – Curcuminoides presente na <i>Curcuma longa L</i> .....   | 9  |
| <b>Figura 5</b> – Estrutura molecular do glicerol .....  | 11 |
| <b>Figura 6</b> – Interação entre radical livre DPPH e um antioxidante.....  | 15 |
| <b>Figura 7</b> – Redução do complexo TPTZ via FRAP.....   | 16 |
| <b>Figura 8</b> – Estufa de secagem (modelo PE14, PARDALTEC, Brasil) .....   | 17 |
| <b>Figura 9</b> – Agitador magnético com aquecimento (modelo 752, FISATOM, Brasil) .....   | 18 |
| <b>Figura 10</b> – Agitador mecânico (modelo Q250, QUIMIS, Brasil) .....   | 18 |
| <b>Figura 11</b> – Micrômetro externo (Modelo MDC-25S, CARBOGRAFITE, Japão) .....  | 18 |
| <b>Figura 12</b> – Mesa agitadora orbital (Tecnal, modelo TE-145, Brasil) .....  | 19 |
| <b>Figura 13</b> – Balança semi-analítica (Modelo UA420, URANO, Brasil) .....  | 19 |
| <b>Figura 14</b> – Fluxograma da confecção do biopolímero .....  | 20 |
| <b>Figura 15</b> – Aparato experimental para a determinação da PVA. (a) vista de cima; (b) vista frontal .....   | 24 |
| <b>Figura 16</b> – Máquina de ensaio universal .....   | 25 |
| <b>Figura 17</b> – Filmes obtidos na confecção dos biopolímeros .....  | 28 |
| <b>Figura 18</b> – Valores preditos versus valores observados para as respostas: (a) conteúdo de umidade e (b) solubilidade em água dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. .... | 33 |
| <b>Figura 19</b> – Valores preditos versus valores observados para as respostas: (a) espessura e (b) PVA dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. ....                            | 36 |
| <b>Figura 20</b> – Superfícies de resposta (a) e curva de contorno (b) para a espessura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. ....   | 38 |
| <b>Figura 21</b> – Superfícies de resposta (a) e curva de contorno (b) para a PVA dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....   | 38 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 22</b> – Valores preditos versus valores observados para as respostas: (a) Tensão na ruptura, (b) Elongação na ruptura e (c) Módulo de Young dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma ..... | 41 |
| <b>Figura 23</b> – Superfícies de resposta (a) e curva de contorno (b) para a Tensão na ruptura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....  | 44 |
| <b>Figura 24</b> – Superfícies de resposta (a) e curva de contorno (b) para a Elongação na ruptura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. ....   | 44 |
| <b>Figura 25</b> – Valores preditos versus valores observados para a resposta conteúdo de carotenoides totais dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....  | 46 |
| <b>Figura 26</b> – Superfícies de resposta (a) e curva de contorno (b) para o conteúdo de carotenoides totais dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....  | 48 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 1</b> – Atividades biológicas associadas à cúrcuma .....   | 10 |
| <b>Tabela 2</b> – Planejamento experimental para os biopolímeros de alginato, mesocarpo de coco babaçu e cúrcuma variando os parâmetros de concentração de mesocarpo de coco babaçu (CMCB) e concentração de cúrcuma (CC).....   | 21 |
| <b>Tabela 3</b> – Conteúdo de umidade ( $\omega$ ) e solubilidade em água (S) de biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. ....  | 29 |
| <b>Tabela 4</b> – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta conteúdo de umidade (%) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....  | 30 |
| <b>Tabela 5</b> – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta solubilidade em água (%) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....   | 31 |
| <b>Tabela 6</b> – ANOVA do modelo ajustado para a resposta conteúdo de umidade (%) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....  | 31 |
| <b>Tabela 7</b> – ANOVA do modelo ajustado para a resposta solubilidade em água (%) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....   | 32 |
| <b>Tabela 8</b> – Espessura e permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. ....   | 34 |
| <b>Tabela 9</b> – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta espessura (mm) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....   | 35 |
| <b>Tabela 10</b> – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta permeabilidade ao vapor de água ( $\text{g.mm/m}^2\text{.dia.kPa}$ ) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma..... | 35 |
| <b>Tabela 11</b> – ANOVA do modelo ajustado para a resposta espessura (mm) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....  | 36 |
| <b>Tabela 12</b> – ANOVA do modelo ajustado para a resposta permeabilidade ao vapor de água ( $\text{g.mm/m}^2\text{.dia.kPa}$ ) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.....   | 36 |
| <b>Tabela 13</b> – Tensão na ruptura, Elongação na ruptura e Módulo de Young dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. ....  | 39 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 14</b> – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta Tensão na ruptura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....                         | 40 |
| <b>Tabela 15</b> – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta Elongação na ruptura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....                      | 40 |
| <b>Tabela 16</b> – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta Módulo de Young dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....                           | 40 |
| <b>Tabela 17</b> – ANOVA do modelo ajustado para a resposta Tensão na ruptura (Mpa) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.....  | 42 |
| <b>Tabela 18</b> – ANOVA do modelo ajustado para a resposta Elongação na ruptura (%) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.....   | 42 |
| <b>Tabela 19</b> – ANOVA do modelo ajustado para a resposta Módulo de Young (MPa) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.....  | 42 |
| <b>Tabela 20</b> – Conteúdo de carotenoides totais dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.....   | 45 |
| <b>Tabela 21</b> – Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta conteúdo de carotenoides totais (mg/100g) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma ..... | 46 |
| <b>Tabela 22</b> – ANOVA do modelo ajustado para a resposta conteúdo de carotenoides totais (mg/100g) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma .....   | 47 |

## SUMÁRIO

|          |  |          |
|----------|--|----------|
|          | <b>FOLHA DE APROVAÇÃO.....</b>                 | ii       |
|          | <b>DEDICATÓRIA.....</b>                        | iii      |
|          | <b>AGRADECIMENTOS.....</b>                     | iv       |
|          | <b>EPÍGRAFE.....</b>                           | v        |
|          | <b>RESUMO.....</b>                             | vi       |
|          | <b>ABSTRACT.....</b>                           | vii      |
|          | <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                   | viii     |
|          | <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                   | x        |
|          | <b>SUMÁRIO.....</b>                            | xii      |
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                         | <b>1</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS.....</b>                          | <b>3</b> |
| 2.1      | Objetivos gerais.....                          | 3        |
| 2.2      | Objetivos específicos.....                     | 3        |
| <b>3</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>             | <b>4</b> |
| 3.1      | <b>Filmes biodegradáveis .....</b>             | 4        |
| 3.2      | <b>Alginato de sódio .....</b>                 | 5        |
| 3.3      | <b>Mesocarpo de coco babaçu .....</b>          | 7        |
| 3.4      | <b>Cúrcuma (<i>Curcuma longa L.</i>) .....</b> | 8        |
| 3.5      | <b>Plastificantes .....</b>                    | 10       |
| 3.5.1    | GLICEROL .....                                 | 11       |
| 3.6      | <b>Reticulante .....</b>                       | 11       |
| 3.6.1    | CLORETO DE CÁLCIO .....                        | 12       |
| 3.7      | <b>Caracterização de filmes .....</b>          | 12       |
| 3.7.1    | CONTEÚDO DE UMIDADE .....                      | 12       |
| 3.7.2    | SOLUBILIDADE EM ÁGUA .....                     | 12       |
| 3.7.3    | EESPESSURA .....                               | 13       |
| 3.7.4    | PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA .....          | 13       |
| 3.7.5    | ATIVIDADE ANTIOXIDANTE .....                   | 13       |
| 3.7.6    | CAROTENOIDES TOTAIS .....                      | 14       |
| 3.7.7    | MÉTODO DPPD .....                              | 15       |
| 3.7.8    | MÉTODO FRAP .....                              | 16       |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>4</b>   | <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>               | <b>17</b> |
| 4.1        | MATERIAL .....                                | 17        |
| 4.2        | LOCAL DA PESQUISA .....                       | 17        |
| 4.3        | INSTRUMENTOS UTILIZADOS .....                 | 17        |
| 4.4        | METODOLOGIA EXPERIMENTAL .....                | 20        |
| 4.4.1      | ELABORAÇÃO DOS BIOPOLÍMEROS.....              | 20        |
| 4.4.2      | PROCESSO DE CONFECÇÃO DOS BIOPOLÍMEROS .....  | 21        |
| 4.5        | <b>Caracterização dos biopolímeros .....</b>  | <b>22</b> |
| 4.5.1      | ASPECTO VISUAL E COLORAÇÃO .....              | 22        |
| 4.5.2      | CONTEÚDO DE UMIDADE ( $\omega$ ) .....        | 22        |
| 4.5.3      | SOLUBILIDADE EM ÁGUA (S) .....                | 22        |
| 4.5.4      | ESPESSURA ( $\delta$ ) .....                  | 23        |
| 4.5.5      | PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA (PVA) .....   | 23        |
| 4.5.6      | PROPRIEDADES MECÂNICAS .....                  | 24        |
| 4.5.7      | CAROTENOIDES TOTAIS .....                     | 25        |
| 4.5.8      | ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....                   | 26        |
| <b>5</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>            | <b>27</b> |
| <b>6</b>   | <b>CONCLUSÃO.....</b>                         | <b>49</b> |
| <b>6.1</b> | <b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b> | <b>49</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                       | <b>50</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Crocker (2017) fatores como inovações tecnológicas e científicas, produção e consumo em massa, assim como o crescimento industrial se caracterizam como prioridades do desenvolvimento humano, o que está diretamente atrelado a um sistema econômico que produz níveis excessivos de resíduos sólidos e que causam grandes impactos ambientais trazendo um preço alto às pessoas e, principalmente, ao planeta.

Grande parte desses resíduos sólidos são classificados como plásticos. Logo, em seu estudo, Geyer (2020) destacou que esses polímeros sintéticos são comercializados há mais de 70 anos. Esse volume de comercialização carrega aproximadamente 300 milhões de toneladas produzidas anualmente (PLASTIC OCEANS, 2020). Geyer (2020) menciona ainda que, desse montante, aproximadamente 10% são reciclados, 14% incinerados, enquanto que o restante é destinado a aterros sanitários ou descartados no meio ambiente e finaliza lembrando que se esse cenário continuar em crescimento, até 2050 atingirá 1,1 bilhão de toneladas de plásticos descartados irregularmente.

Como aponta o Ministério do Meio Ambiente (MMA) em seus dados, uma fração de um terço dos lixos domésticos é caracterizada por embalagens plásticas, o que corresponde a uma parcela de cerca de 25 mil toneladas desse material descarregados nos depósitos de lixo diariamente (MMA, 2018). Dessa forma, isso se torna preocupante, tendo em vista tanto os problemas ambientais advindos da utilização de recurso não renováveis (petróleo), quanto pelo tempo que esse material leva para se degradar no ambiente (LOPES et al., 2020).

À vista disso, com os problemas surgidos a partir do descarte irregular de plásticos, surgiu um crescente interesse na substituição de embalagens sintéticas por produtos alternativos renováveis e biodegradáveis como os polissacarídeos, lipídios e proteínas, por exemplo (BALLESTEROS-MÁRTINEZ; PÉREZ-CERVERA; ANDRADE-PIZARRO, 2020).

Os filmes biodegradáveis, dentro da indústria de alimentos, têm infinitas utilidades e aplicações. As principais características atribuídas a esse material são: a capacidade de atuar como barreiras mecânicas e térmicas, assim como contribuem com a estabilidade microbiológica, propriedades físico-químicas e bioquímicas, além de serem ausentes de compostos tóxicos fazem uso de tecnologias simples e dessa forma conduzem ao baixo custo e não são poluentes (JIANG et al., 2019; SHAHRAMPOUR et al., 2020).

O alginato, por exemplo, é um dos materiais mais propícios para a produção de biopolímeros, tendo em mente que se trata de um polissacarídeo de ocorrência natural e é



comercialmente extraído de espécies de algas marrons (SENTURK PARREIDT; MÜLLER; SCHMID, 2018). Graças as suas propriedades gelificante e espessante advindas da capacidade de complexar com íons de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), essa substância vem sendo usada cada vez mais, principalmente em aplicações alimentícias (COSTA et al., 2018). Roopa e Bhattacharya (2008) completaram dizendo que o polímero obtido pelo alginato apresenta boa biodegradabilidade, biocompatibilidade e ausência de toxicidade.

Certamente, o alginato de sódio possui características mecânicas desejáveis no que diz respeito à produção de biofilme, porém surge a necessidade de adição de um agente plastificante, o glicerol, que atua melhorando as prováveis fragilidades. Com a ação desse material adquire-se boa solubilidade em água e maior capacidade de incorporação na estrutura polimérica quando comparado a outros plastificantes, além de ter se destacado como adequado à confecção de biofilmes (CARULO, 2005).

Já o mesocarpo de coco babaçu, que é um subproduto da indústria de extração de óleo de babaçu e representa cerca de 20% do peso do fruto (SILVA et al., 2019), possui em sua composição química uma significativa quantidade de amido estando entre 63,75% a 71,29% (MIOTTO et al., 2013). Para Mali et al. (2010), o amido é composto por amilopectina e amilose, que possuem propriedades físicas, químicas e funcionais para a formulação de géis e filmes.

Moraes et al. (2011) indicam que durante a produção de biofilmes a incorporação de aditivos na estrutura polimérica é determinante, sendo o resultado um filme ativo com capacidade de reduzir, inibir ou retardar o crescimento microbiano. A isso, o principal objetivo é confiabilidade no produto final que comercialmente estará embalado sob prateleiras ou outros locais, além da exposição de agentes sejam eles físicos, químicos e/ou biológicos onde reações de deterioração estão em foco.

Bhawana et al. (2011) afirmaram que a curcumina presente na cúrcuma é um pigmento fenólico proveniente do açafrão. Sendo utilizado como conservante de alimentos, agente aromatizante e corante. Além disso, destacaram ainda que nas últimas décadas pesquisas apontam que a curcumina possui grande potencial antioxidante, anti-inflamatório, antitumoral e propriedades antimicrobianas.

Dessa forma, com todos os problemas ambientais causados pelo descarte irregular das embalagens plásticas, o presente trabalho busca alternativas relevantes para contornar tais problemas avaliando o potencial de matérias primas de baixo custo e fácil acessibilidade, como a produção de biopolímeros à base de alginato e mesocarpo de coco babaçu adicionado de cúrcuma (*Curcuma longa L.*) investigando as suas propriedades para a obtenção de um material com maior valor agregado.

## 2 OBJETIVOS

Levando em consideração os problemas ambientais advindos especialmente por consequências causadas pela má gestão, descarte irregular e não aproveitamento de resíduos sólidos considerando também o seu alto tempo de degradação, o presente estudo pode permitir a implementação de metodologias alternativas para essa problemática, especialmente quando se refere a embalagens plásticas. Uma vez que esta pesquisa fornecerá informações relevantes acerca da confecção de biopolímeros como alternativa ao plástico convencional, a sua implementação se torna cada vez mais necessária.

### 2.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo geral a produção, avaliação e caracterização de biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu contendo cúrcuma (*Curcuma longa L.*) para possível aplicação em recobrimento de alimentos.

### 2.2 Objetivos específicos

- ✓ Utilizar diferentes concentrações de alginato, mesocarpo de coco babaçu e cúrcuma (*Curucma longa L.*) para explorar suas vantagens nutricionais incorporando-as na composição dos biofilmes;
- ✓ Formular diferentes biopolímeros utilizando o alginato, mesocarpo e cúrcuma utilizando a técnica *casting* a partir de uma concentração de 1% de cloreto de cálcio;
- ✓ Caracterizar e avaliar os biopolímeros produzidos através das análises de aspecto visual, umidade, solubilidade, espessura, permeabilidade ao vapor de água e propriedades mecânicas;
- ✓ Avaliar a atividade antioxidante dos biopolímeros confeccionados a partir da análise de carotenoides totais.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Filmes Biodegradáveis

De acordo com Pavlath e Orts (2009), os filmes são classificados como uma fina camada ou até mesmo uma película de um produto que é utilizado para recobrimento de superfícies de alimentos e que vem a sofrer degradação enzimática por organismo vivo.

Essa biodegradação é um processo natural, em que há a transformação de compostos orgânicos em compostos mais simples. Os agentes causadores desse processo são os micro-organismos e as enzimas que, através de processos bioquímicos e em condições adequadas de umidade, pressão, luz, oxigênio e temperatura conseguem realizar tal efeito (AZEVEDO et al., 2017; LANDIN et al., 2016).

Santana e Kieckbusck (2013) classificaram os filmes como sendo produtos poliméricos provenientes de origem vegetal ou animal. Santana et al. (2020) completaram ressaltando que a formação desses filmes é na forma de polissacarídeos e proteínas e que possuem baixo impacto quando descartados no meio ambiente.

De acordo com Parreidt, Müller e Schmid (2018), as vantagens de se usar polissacarídeos na confecção de filmes promove uma capacidade mais eficiente quanto à barreira a gases, por outro lado, a utilização de lipídeos garante uma melhor redução na transmissão de água, ao passo que, a utilização de proteínas oferece uma estabilidade mecânica mais sofisticada. Entretanto, para os autores, a utilização de lipídeos oferece desvantagens como fragilidade, opacidade, instabilidade, sendo que o filme pode apresentar um sabor desagradável, o que não acontece com filmes de hidrocolóides.

Sendo assim, a melhor opção para contornar tais deficiências promovidas pela utilização de polissacarídeos, lipídios e proteínas é a confecção de filmes biodegradáveis utilizando uma composição mista desses biopolímeros, tendo em vista que as características de cada um seriam incorporadas em um único material potencializando as suas funcionalidades (PACHECO et al., 2019; YANG; WANG; XIA, 2019).

Segundo Martelli-Tosi et al. (2020), os filmes são confeccionados a partir de macromoléculas que são dissolvidas em um solvente, e para uma melhora de suas propriedades são adicionados alguns compostos, como os plastificantes. Os plastificantes mais utilizados são o glicerol, o sorbitol, o propileno glicol e o polietileno glicol (SOBRAL et al., 2015; THOMAZINE et al., 2015; VANIN et al., 2005). Os plastificantes, por sua vez, agem no polímero diminuindo as interações entre as cadeias deste, além de o tornar mais maleável e menos quebradiço (GONTARD et al., 1993; SOTHORNIT; KROCHITA, 2000). O método

*casting* é a forma mais utilizada para a produção de filmes biodegradáveis. Nesse processo a solução filmogênica é adicionada em placas afim de se proceder uma secagem efetiva. Em seguida, retira-se os filmes secos e realiza-se a caracterização (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1992).

Em seu estudo Haghghi et al. (2020) destacaram que como os plásticos convencionais derivados de petróleo são bem sofisticados, os filmes biodegradáveis provenientes de biopolímeros ainda não competem lado a lado, tendo em vista suas capacidades limitadas em relação às propriedades mecânicas e funcionais. Dessa forma, Mir et al. (2018) mostraram que a utilização de aditivos melhora a qualidade destes filmes biodegradáveis. Os autores ainda justificam que dentre os aditivos, os compostos fitoquímicos se destacam, pois contribuem com atividades antioxidantes e antimicrobianas aumentando a vida de prateleira dos alimentos.

Em seu trabalho, Santana (2010) destacou que para se obter um bom filme, as interações polímero, solvente, reticulante e aditivos (quando for o caso) são essenciais. Além disso, dependem também da força iônica entre polímero e reticulante, de uma secagem efetiva, assim como do tipo de dispersão da solução para a confecção do filme, lembrando ainda das concentrações e características dos componentes.

Para Saricoağlu e Turhan (2019), tanto a utilização de filme biodegradável como embalagem ou como cobertura de alimentos, são alternativas para prolongar a vida de prateleira, tendo em vista que auxiliam dificultando a perda de umidade, a permeabilidade de oxigênio, migração lipídica, ao passo que também melhoram o manuseio e em alguns casos podem ser consumidos junto com o alimento.

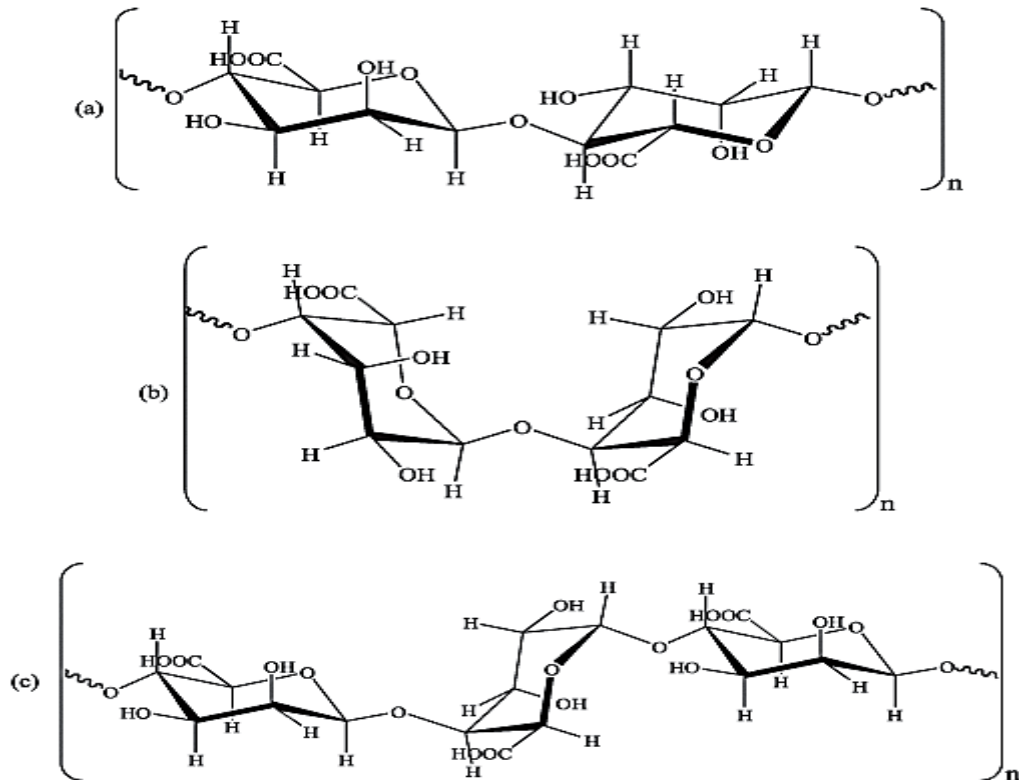
### **3.2 Alginato de Sódio**

Proveniente de alguns gêneros de algas marrons (*Laminarianhyperborean*, *Macrocystispyriferae Ascophyllumnodosum*), o alginato é um composto de ocorrência natural, aniônico. Além disso, possui baixo custo, é altamente biocompatível e não tóxico (LEE; MOONEY, 2012).

O alginato é composto estruturalmente por ligações  $\beta$ -D-ácido manurônico (estrutura M) e por ligações  $\alpha$ -L-ácidogulurônico (estrutura G) (Figura 1). Sua composição básica consiste em unidades lineares e não ramificadas correspondendo a três diferentes formas de segmentos: resíduos G consecutivos (GGGGGG), resíduos M consecutivos (MMMMMM) e resíduos MG consecutivos (GMGMGM). Essas variações de resíduos M e G determinam as propriedades físicas e químicas, assim como a massa molecular do alginato, e a variação de manurônico e

gulurônico correspondem às diferentes fontes em que o alginato pode ser obtido (CHING; BANSAL; BHANDARI, 2017).

**Figura 1** - Composição estrutural do alginato: (a) ácido manurônico; (b) ácido gulurônico; (c) ácido manurônico e ácido gulurônico consecutivos.



Fonte: KAWAGUTI e SATO, (2008).

O alginato possui grande potencial estabilizante, gelificante e espessante, o que atraiu a indústria de alimentos para a melhora de alguns dos seus produtos. Essas características são natas do alginato, entretanto, interações com proteínas, fibras e gorduras podem melhorá-las (STEPHEN; PHILLIPS; WILLIAMS, 2006). Além disso, propriedades como biocompatibilidade, biodegradabilidade, não toxicidade e baixo custo tornam o alginato um biopolímero bastante atrativo (SUN; TAN, 2013).

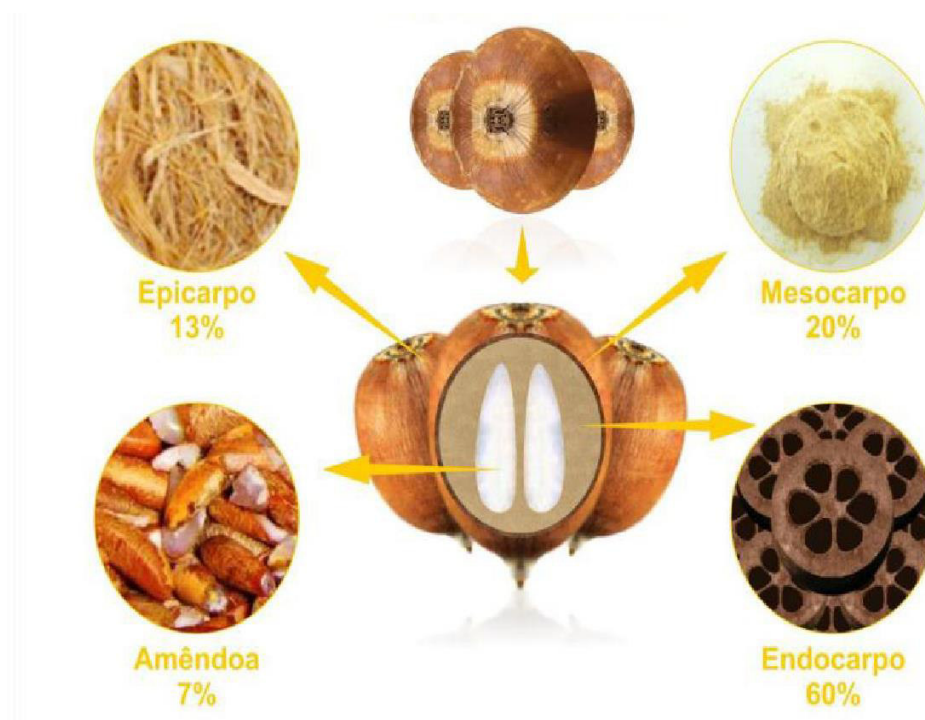
Ainda na indústria de alimentos, o alginato destacou-se grandemente no setor produtivo de embalagens alimentícias, pois auxilia no prolongamento da vida útil de alimentos na prateleira atuando na proteção contra degradações. Garante boa barreira aos gases e não toxicidade do alimento, oferecendo boa aplicação como filmes protetores. Além do mais, reforça a boa integridade de alimentos minimamente processados, garantindo o controle de qualidade adequado e principalmente oferece uma análise sensorial atrativa (PARREIDT; MÜLLER; SCHMID, 2018; TEDESCHI et al., 2018).

Entretanto, Grant et al. (1973) concluíram que estruturas poliméricas de alginato são bastantes hidrofílicas e solúveis em água. Sendo assim, a reticulação deste com cálcio, por exemplo, melhora suas características, garantindo melhor resistência à umidade, resistência mecânica, propriedades de barreira e tornando-o menos solúvel em água.

### 3.3 Mesocarpo de coco babaçu

Para de Silva et al. (2019), o babaçu (*Attalea speciosa*) é abundantemente semeado no Brasil, o que ocorre principalmente nas regiões norte e nordeste. Os autores ainda destacam que essa palmeira apresenta quatro partes (Figura 2): o epicarpo rico em fibras, o mesocarpo rico em amido, o endocarpo duro e lenhoso e a amêndoa rica em óleo.

**Figura 2** – As quatro partes do coco babaçu.



Fonte: Adaptado de Sousa, (2008).

Em seu estudo, Carneiro (2011) destacou que a palmeira do coco babaçu pode alcançar uma altura de até 2 metros, começa a apresentar frutos com 7 a 8 anos de vida apresentando uma média de vida de 35 anos. Ferreira et al. (2011) destacaram que essa palmeira é muito usada no extrativismo, garantindo renda com artesanato e atuando na nutrição humana e animal.

O mesocarpo de coco babaçu é obtido através da extração de óleo da fruta. Através de processos de secagem e moagem do mesocarpo, a farinha é obtida. Rica em amido (60 %) e

compostos fenólicos além de apresentar propriedades antioxidantes, a farinha é utilizada na dieta humana e animal (MANIGLIA; TAPIA-BLÁCIDO, 2016; SILVA et al., 2019).

Souza et al. (2011) ainda destacaram a utilização de subprodutos do babaçu como potenciais anti-inflamatórios, no tratamento de feridas crônicas, úlceras e diversas outras enfermidades. Segundo Arruma, Lima e Ribeiro (2012) a farinha do mesocarpo é rica em taninos, antocianinas e polissacarídeos, o que confere propriedades farmacológicas a esse material.

### 3.4 Cúrcuma (*Curcuma longa* L.)

Dentre os possíveis fitoquímicos que podem ser adicionados para a melhora do biofilme, a cúrcuma (*Curcuma longa* L.) (Figura 3) ganha destaque. Nas palavras de Saiz de Cos (2014) a *Curcuma longa* L. possui origem asiática, sendo constituinte da família das *Zingiberaceae*, uma planta herbácea. Ela está incluída no grupo dos *Comelinídeos* e apresenta paredes celulares fluorescentes graças à presença dos ácidos ferúlico, cumárico e salicílico.

A planta pode apresentar uma altura de até 1 metro de comprimento, identificada pelas folhas de coloração amarelada (VILLAGOMEZ, 2014). A cúrcuma é uma raiz de coloração amarronzada que possui sua estrutura interna alaranjada caracterizado pelo pigmento curcumina. Possui um alto teor de metabólitos polifenólicos, o que auxilia no seu emprego em diversas áreas, como a medicina e a culinária, por exemplo (CHATTOPADHYAY et al., 2014).

**Figura 3** – *Curcuma longa* L (Rizoma e pó).



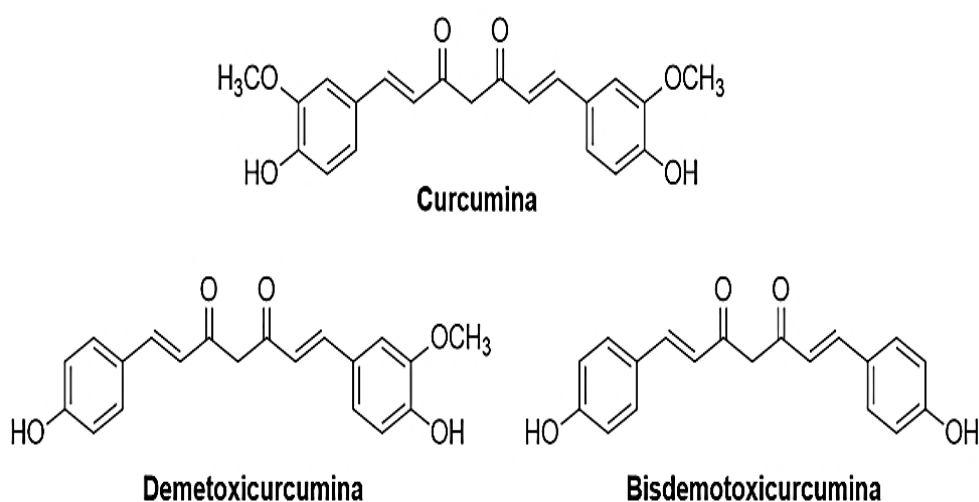
Fonte: EUGSTER, (2014).

De acordo com Fontes et al. (2018), o rizoma da *Curcuma longa* L. é a parte da planta mais utilizada e estudos indicam que a sua composição corresponde predominantemente em polissacarídeos, proteínas, lipídeos, cinzas e fibras, respectivamente. A cúrcuma seca apresenta

baixos valores de umidade, o que pode variar de acordo com a forma de cultivo, o local, as práticas agrícolas e o grau de maturação do rizoma.

Jayaprakasha et al. (2005) mencionaram em seu trabalho que o rizoma da cúrcuma apresenta três tipos de pigmentos: curcumina, desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina, como apresentado na Figura 4. Priyadarsini (2014) afirmou que a curcumina é insolúvel em água e em solventes orgânicos não polares, entretanto, se apresenta solúvel em solventes polares. Mahran et al. (2017) ainda destacaram que a 25°C a curcumina é estável em pó e na ausência de luz solar, ao passo que, se exposta a luz solar, se degrada a ácido ferúlico e ácido vanílico.

**Figura 4** – Curcuminoides presente na *Curcuma longa L.*



Fonte: Gredilha et al., (2021).

De acordo com Tonnensen e Karlsen (1958), a cúrcuma se apresenta bem estável com pH maior que 7, por outro lado, Rusig e Martins (1992) constataram que em pH na faixa de 4 a 7 a cúrcuma se apresentou estável e a um pH acima 7 verificaram uma maior velocidade de degradação. Eles destacaram ainda que a luz foi o fator que mais influenciou na degradação da cúrcuma, atingindo um fator de 30% de perda do pigmento.

Para Ahsan et al. (1999), as atividades biológicas da cúrcuma se devem aos seus curcuminoides (curcumina, desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina). O teor de concentração majoritário é o da curcumina, que varia entre 70-80%.



A Tabela 1 apresenta algumas das atividades biológicas intrínsecas à cúrcuma.

**Tabela 1** – Atividades biológicas associadas à cúrcuma.

| <b>Atividade</b> | <b>Referência</b>             |
|------------------|-------------------------------|
| Anticoagulante   | Sueth-Santiago, 2015          |
| Antifúngica      | Sueth-Santiago, 2015          |
| Antiinflamatória | Hewlings e Kalman, 2017       |
| Antimalárica     | Gomes, 2014                   |
| Antioxidante     | Marchi, 2016                  |
| Antiviral        | Mem. Inst. Oswaldo Cruz, 2001 |
| Cicatrizante     | Shehzad, 2012                 |

Fonte: Adaptado de Sueth-Santiago, 2015.

Dentre essas atividades, há as farmacológicas, que correspondem a ações anti-inflamatórias, antioxidantes, antimicrobianas, antienvhecimento, antitumorais, antiproliferativas, antivenenosas. Além disso, a cúrcuma vem sendo usada para tratamentos de infecções parasíticas, doenças de pele e doenças autoimunes (AMALRAJ et al., 2017; BROUET; OHSHIMA, 1995; CALCAGNO et al., 2019; PRIYADARSINI, 2014; RAJAKUMAR; RAO, 1994; SCHOLZE, 2014; SUETH-SANTIAGO et al., 2015).

Calcagno et al. (2019) afirmaram que pesquisas com os curcuminoides têm investigado o potencial desses grupos para a prevenção e o tratamento de uma grande variedade de cânceres, destacando o de mama, pulmão e gastrointestinal, tendo em vista que os curcuminoides diminuem as mutações células defeituosas provocando a sua morte.

### 3.5 Plastificantes

A norma ASTM D-883 (1983) instituiu que plastificantes correspondem ao material adicionado aos plásticos a fim de se obter um melhor manuseio, assim como uma melhor flexibilidade.

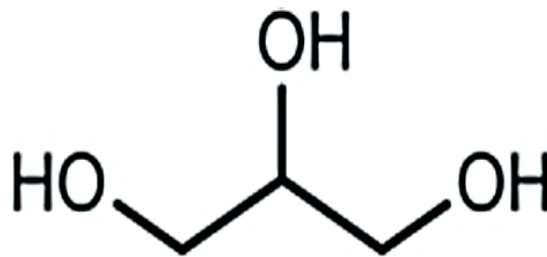
Em seu estudo, Hosney et al. (2018) destacaram que a inserção do plastificante altera as propriedades do polímero alterando suas propriedades mecânicas de alongamento e elasticidade. Basiak et al. (2018) completaram relatando que os plastificantes são moléculas hidrofílicas de baixo peso molecular e correspondem a poliálcoois (glicerol, sorbitol), além de compostos nitrogenados (ureia) e ácidos não voláteis (ácido cítrico e ácido tartárico, por exemplo).

Graças ao seu tamanho molecular, espaçamento entre átomos de oxigênio, afinidade com a água e a sua compatibilidade com biopolímeros, especialmente à base de amido, os plastificantes vêm ganhando bastante repercussão (LUCHESE, 2018).

### 3.5.1 GLICEROL

O glicerol ( $C_3H_8O_3$ ) (Figura 5) se apresenta como um dos plastificantes mais utilizados para a confecção de filmes e blendas. Desse modo, as suas propriedades como baixo peso molecular e proporcionalidade de um melhor reparo termomecânico, fazem com que esse plastificante vem ganhando bastante destaque (BRANDELERO; de ALMEIDA; ALFARO, 2015; SILVEIRA et al., 2019).

**Figura 5** – Estrutura molecular do glicerol.



Fonte: OLIVEIRA et al., (2021).

Por outro lado, o glicerol atua no processo de confecção de filmes agindo sobre as pontes de hidrogênio reduzindo-as entre as cadeias poliméricas e diminuindo os espaços moleculares. A permeabilidade de um filme à base de amido é bem limitada, entretanto, a adição do plastificante atua nessa deficiência melhorando-a (JUNIOR et al., 2011). Já no alginato, a adição do plastificante atua no processo de diminuição à tração e no módulo de Yang, ocorrendo um aumento de alongamento à ruptura do filme, assim como uma reorganização estrutural promovendo uma cristalização das cadeias de alginato (GAO; POLLET; AVÉROUS, 2017).

### 3.6 Reticulante

O processo de reticulação ocorre pela ocorrência de ligação cruzada conhecido também como *crosslinking*, ou seja, as cadeias do polímero (ramificadas ou lineares) se interligam através de ligações covalentes e formam uma rede tridimensional de elevada massa

molar. A reticulação provoca um aumento da rigidez da estrutura o que torna o polímero mais insolúvel em água (PESSANHA; ROCHA; DA SILVA, 2011).

Como aponta Zhang et al. (2017), a filmes confeccionados a partir de polissacarídeos apresentam uma grande solubilidade em água, entretanto, os autores concluíram que a base de alginato reticulados com cloreto de cálcio apresentam uma melhor insolubilidade em água. Dessa forma torna-se necessário tal processo.

### 3.6.1 CLORETO DE CÁLCIO

O cloreto de cálcio é um composto químico comumente aplicado em mudança de fase de material, como agente dessecante, de resfriamento ou de desumidificação, e também como agente reticulante em produtos poliméricos. O cloreto de cálcio atrai bastante atenção devido a sua fácil disponibilidade, não tóxico, pequena variação de volume durante a fase de transição e menor corrosividade em relação a outros sais hidratados. O cloreto de cálcio por ser muito higroscópico, deve ser mantido em recipientes bem fechados (N'TSOUKPOE et al., 2015).

## 3.7 Caracterização de Filmes

A caracterização dos filmes biopoliméricos/biodegradáveis é bastante necessária, tendo em vista que os padrões de qualidade são primordiais para a sua aplicação real. Essas análises podem ser definidas por: espessura, cor, sabor, aroma, propriedades de barreira, solubilidade em água, umidade e assim por diante.

### 3.7.1 CONTEÚDO DE UMIDADE

Rindlav-Westling (1998) ressaltou que filmes secos sob maiores umidades relativas apresentam estruturas com maior grau de cristalinidade e maior teor de umidade residual, características que tornam os filmes mais susceptíveis a alterações durante o seu armazenamento e utilização. Comumente, quanto maior o conteúdo de amido, mais rígidos e menos resistentes às alterações de umidade são estes filmes (KIM; POMETTO, 1994; ARVANITTOYANNIS et al., 1998).

### 3.7.2 SOLUBILIDADE EM ÁGUA

Como apontaram Gontard et al. (1994), a solubilidade dos filmes em água serve de parâmetro no controle de qualidade dos alimentos em que a atividade de água é alta ou quando o alimento entra em contato com água durante a coação, ou mesmo, quando os filmes são ingeridos. Para Perez-Gag e Krochta (2001) existem casos onde a total solubilidade do filme

em água é vantajosa. Monterrey-Quintero (1998) destacou que esse tipo de filme (alta solubilidade) é interessante para aplicações com alimentos desidratados, como por exemplo, sopas instantâneas, frutas desidratadas etc. Entretanto, para esses casos, os filmes devem ser necessariamente comestíveis.

### 3.7.3 ESPESSURA

Oliveira (1996) classificou a espessura dos filmes como sendo a distância perpendicular entre as duas superfícies principais do material e a gramatura como peso de uma determinada área do material, estando ambas diretamente relacionadas à resistência mecânica dos filmes. Sriamornask e Kennedy (2008) concluíram que dependendo do polissacarídeo, os filmes costumam apresentar diferentes espessuras para a mesma quantidade e concentração. Os filmes de pectina, por exemplo, tendem a ser mais finos do que os filmes de alginato, pois alcançam um arranjo molecular mais compacto, fato este atribuído à menor massa molecular da pectina em relação ao alginato.

Sobral (2000), em seu estudo, relatou que a espessura se relaciona diretamente com outra característica de filmes, a permeabilidade ao vapor de água. Destacou ainda que no método *casting*, a espessura é um parâmetro de difícil controle quando aplicado em confecção de biofilmes. Chen (1995) completou concluindo que a permeabilidade ao vapor de água é uma variável em relação à espessura.

### 3.7.4 PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA (PVA)

Segundo Tosati (2020), a permeabilidade é um processo no qual o vapor se difunde de um lado do filme para outro. Bertan et al. (2003) completaram dizendo que essa permeabilidade se dá pela morfologia, densidade, estrutura química, cristalinidade e orientação polimérica.

O *Annual Book of Standards* E95-96 definiu como permeabilidade a taxa de transmissão de vapor de água por unidade de área através do filme, de espessura conhecida, induzida por um gradiente de pressão entre duas superfícies específicas, de umidade relativa e temperatura especificada (ASTM, 1995).

### 3.7.5 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

De acordo com Zeb (2020) os antioxidantes são substâncias químicas que se apresentam em baixas quantidades nos alimentos, auxiliam na inibição e no controle oxidativo de um substrato, o que evita a deterioração e promove uma maior vida útil do alimento.

Moharram e Youssef (2014), destacaram que a atividade antioxidante é uma ação que bloqueia a oxidação de outras moléculas. A oxidação, por sua vez, é a reação que transfere

elétrons de hidrogênio para um agente oxidante. Comumente, essas reações produzem radicais livres, que podem fazer reações do tipo cadeia, quando ocorre em células, podem causar danos e a morte da mesma.

Para Hurrell (2003) os antioxidantes são subdivididos em dois grupos: os primários e secundários. Os primários quebram as cadeias e transformam os radicais lipídicos em compostos mais estáveis (fitoquímicos, vitaminas antioxidantes, entre outros). Os secundários que recolhem os radicais livres, ocasionando assim a não continuidade de reações em cadeia (tolueno, por exemplo).

### 3.7.6 CAROTENOIDES TOTAIS

Belitz e Grosh (1997) definiram que os carotenoides fazem parte de uma família de compostos naturais, dos quais mais de 600 variantes estruturais estão reportadas e caracterizadas, a partir de bactérias, algas, fungos e plantas superiores. São substâncias coloridas amplamente distribuídas na natureza, principalmente nos cloroplastos de plantas, sempre acompanhando as clorofilas. A mudança de cor durante o amadurecimento dos frutos ou envelhecimento de vegetais é causada pelo desaparecimento das clorofilas, que, quando presentes, mascaram as cores de outros pigmentos.

Para Zaghdoudi et al. (2015), nos carotenoides, a coloração é um fator muito importante. Ela pode variar do amarelo até um vermelho escuro graças ao sistema de ligações conjugadas que ocorrem ao longo da cadeia de hidrocarbonetos, correspondendo ao grupo cromóforo responsável pela absorção da luz na região do visível que é utilizado na identificação e quantificação desses compostos.

A coloração e a sua respectiva intensidade correspondem ao número de ligações duplas, ou seja, são elas que fazem o cromóforo absorver luz em diferentes regiões. Sendo assim, um carotenoide que apresenta menos de sete ligações duplas é classificado como incolor como o fitoflueno e o fitoeno, por exemplo. Para que a coloração amarelada seja visível é necessário, no mínimo, sete ligações duplas conjugadas e essa coloração é acentuada à medida que há um aumento no número de ligações duplas conjugadas, pois apresentam maiores bandas de absorção e maiores comprimentos de ondas (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999; OLIVIER; PALOU, 2000; RODRIGUEZ-AMAYA, 2004).

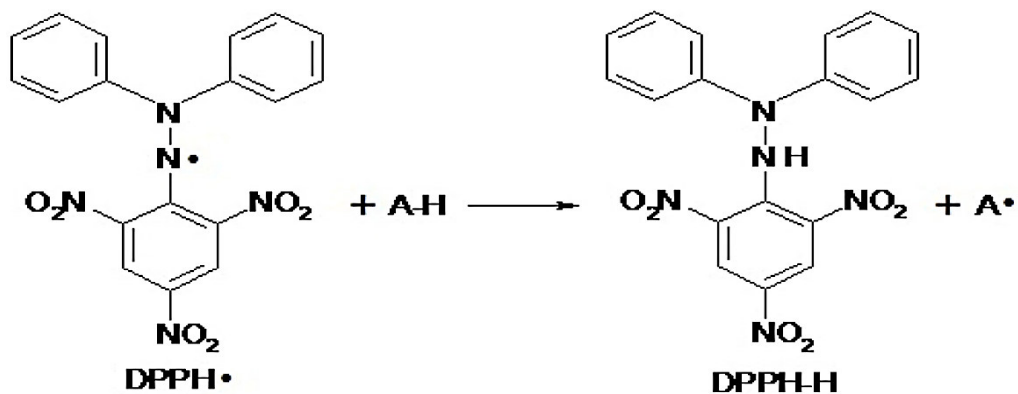
Além da atividade pró-vitamina A, os carotenóides desempenham funções no organismo devido a sua função antioxidante, especificamente, à capacidade de sequestrar o oxigênio singlete e interagir com os radicais livres. Estudos mostram que os carotenóides têm demonstrado uma ação protetora contra a carcinogênese, tanto em estudos in vitro como in

vivo, com animais e humanos, concluindo que uma alimentação rica em carotenoides provenientes das frutas, legumes e verduras, representa um possível fator de proteção contra o desenvolvimento do câncer (GOMES, 2007). Outros estudos mostram os efeitos antioxidantes dos carotenóides contra doenças cardiovasculares, catarata e degeneração macular relacionada à idade (GAZIANO e HENNEKENS, 1993; KRINSKY, 1993; ASTORG, 1997; OLSON, 1999).

### 3.7.7 MÉTODO DPPH

Rufino et al. (2010) determinaram que esse método corresponde a retenção de radicais livres DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila) por antioxidantes (Figura 6). Após essa captura, a coloração violeta altera-se para uma cor amarelada, a partir daí consegue-se determinar a capacidade antioxidante do material, ou seja, os compostos antioxidantes do material conseguem impedir a ação do radical livre, através da molécula de nitrogênio que apresenta elétron desemparelhado. Gülçin (2012) completou informando que a alteração da coloração permite a inspeção da absorbância com absorção máxima na região de 517 nm, necessitando assim, apenas de um espectrofotômetro, o que provavelmente explica sua disseminação e grande uso.

**Figura 6** – Interação entre radical livre DPPH e um antioxidante.



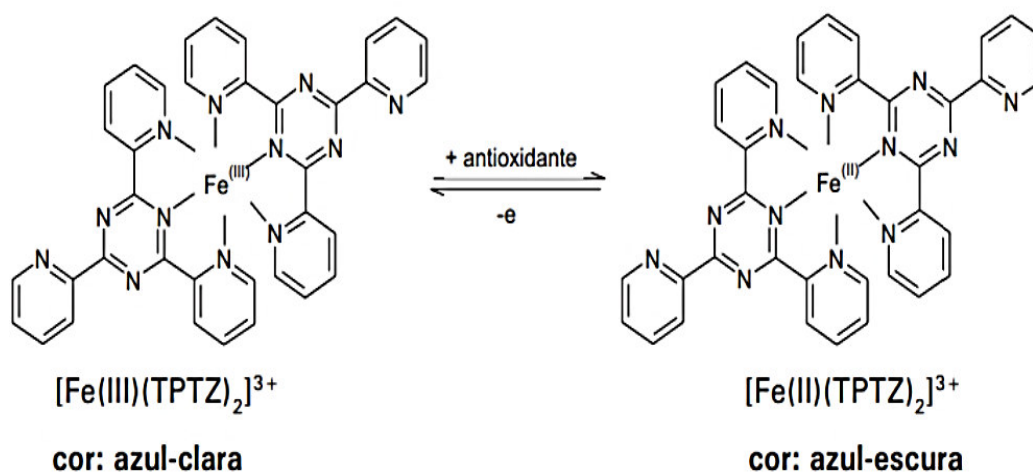
Fonte: Oliveira, (2015)

De acordo com Oliveira (2015), o uso de antioxidantes é de extrema importância, tendo em vista que estes melhoram a qualidade de vida. Analisando esse contexto, os antioxidantes protegem os seres humanos de radicais livres, prevenindo doenças neurodegenerativas e cardiovasculares, por exemplo.

### 3.7.8 MÉTODO FRAP

O método FRAP também se trata de um método de medição de atividade antioxidante. Nesse processo o complexo férrico-tripiridiltriazina ( $\text{Fe}^{\text{III}}$ -TPZ) é reduzido ao complexo ferroso ( $\text{Fe}^{\text{II}}$ -TPZ) ocorrendo com um composto antioxidante em meio ácido (Figura 7). Nesse caso a coloração apresentada é uma cor azul intensa de absorção de 593 nm (BENZIE; STRAIN, 1996).

**Figura 7** – Redução do complexo TPTZ via FRAP.



Fonte: Rufino et al., (2006)

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAL

Os materiais utilizados para a confecção dos biopolímeros foram o alginato de sódio (Isofar, Dinâmica Química Contemporânea, Brasil), o mesocarpo de coco babaçu e a cúrcuma (*Curcuma longa L.*) obtida em feira local de São Luís – MA. Utilizou-se o glicerol (Isofar, Dinâmica Química Contemporânea, Brasil) como agente plastificante e como agente reticulador utilizou-se o cloreto de cálcio dihidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (Isofar, Dinâmica Química Contemporânea, Brasil).

### 4.2 LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Engenharia de Produtos e Processos (LEPPBio) localizado na Universidade Federal do Maranhão (UFMA), no campus do Bacanga, na cidade de São Luís - MA.

### 4.3 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para os ensaios foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Estufa de secagem (modelo PE14, PARDALTEC, Brasil) (Figura 8).



Fonte: Próprio autor (2022).



- Agitador magnético com aquecimento (modelo 752, FISATOM, Brasil) (Figura 9).



Fonte: Próprio autor (2022).

- Agitador mecânico (modelo Q250, QUIMIS, Brasil) (Figura 10).



Fonte: Próprio autor (2022).

- Micrômetro externo (Modelo MDC-25S, CARBOGRAFITE, Japão) (Figura 11).



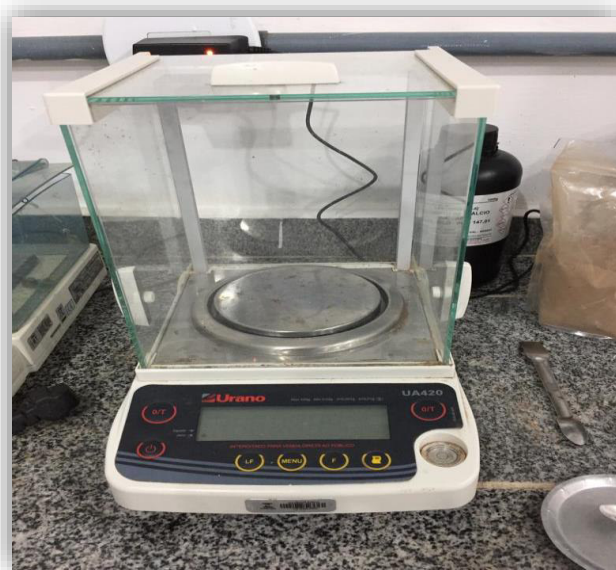
Fonte: Próprio autor (2022).

- Mesa agitadora orbital (Tecnal, modelo TE-145, Brasil) (Figura 12).



Fonte: Próprio autor (2022).

- Balança semi-analítica (Modelo UA420, URANO, Brasil) (Figura 13).



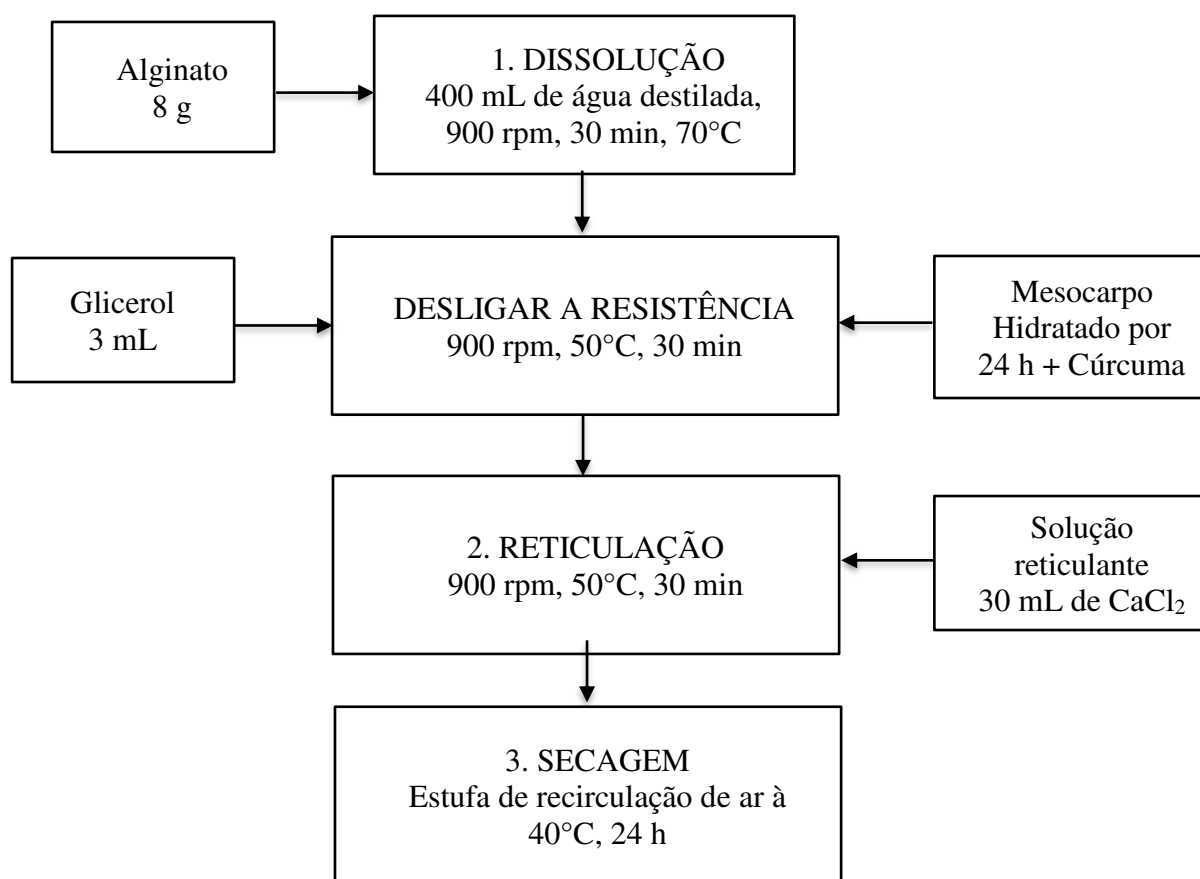
Fonte: Próprio autor (2022).

## 4.4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 4.4.1 ELABORAÇÃO DOS BIOPOLÍMEROS

A etapa de confecção dos biopolímeros se deu a partir do fluxograma a seguir (Figura 14).

**Figura 14** – Fluxograma da confecção do biopolímero.



Fonte: Próprio autor (2022).

Foi utilizado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis  $\pm \alpha$ ), totalizando 11 ensaios (Tabela 2), que foi utilizado para estudar os efeitos das variáveis concentração de mesocarpo de coco babaçu (g) e concentração de cúrcuma (g) sobre as respostas: aspecto visual, umidade (%), solubilidade em água (%), permeabilidade ao vapor de água (PVA), espessura ( $\delta$ ), propriedades mecânicas e carotenoides totais.

**Tabela 2** – Planejamento experimental para os biopolímeros de alginato, mesocarpo de coco babaçu e cúrcuma variando os parâmetros de concentração de mesocarpo de coco babaçu (CMCB) e concentração de cúrcuma (CC).

| Ensaio | Variáveis Independentes |        |            |        |
|--------|-------------------------|--------|------------|--------|
|        | Real                    |        | Codificado |        |
|        | CMCB (g)                | CC (g) | CMCB (g)   | CC (g) |
| 1      | 1,3                     | 1,5    | -1         | -1     |
| 2      | 3,8                     | 1,5    | 1          | -1     |
| 3      | 1,3                     | 6,5    | -1         | 1      |
| 4      | 3,8                     | 6,5    | 1          | 1      |
| 5      | 0                       | 5      | -1,41      | 0      |
| 6      | 5                       | 5      | 1,41       | 0      |
| 7      | 2,5                     | 0      | 0          | -1,41  |
| 8      | 2,5                     | 10     | 0          | 1,41   |
| 9      | 2,5                     | 5      | 0          | 0      |
| 10     | 2,5                     | 5      | 0          | 0      |
| 11     | 2,5                     | 5      | 0          | 0      |

Fonte: Próprio autor (2022).

#### 4.4.2 PROCESSO DE CONFECÇÃO DOS BIOPOLÍMEROS

O método *casting*, comumente mais utilizado, corresponde ao preparo da solução filmogênica adicionando-a a placas para posterior secagem. Para cada ensaio foi utilizado diferentes concentrações de cúrcuma e de mesocarpo, mantendo fixo as quantidades de água, alginato, glicerol e  $\text{CaCl}_2$  (Tabela 1). O preparo da solução filmogênica inicialmente se deu pela hidratação do mesocarpo por 24 horas. Após esse intervalo, adicionou-se 8 gramas de alginato a 900 rpm com a resistência ligada e esperou-se 30 minutos. Em seguida, desligou-se a resistência e esperou-se a temperatura atingir  $50^\circ\text{C}$ , adicionou-se o mesocarpo hidratado e a cúrcuma (com concentração especificada na Tabela 2) e 3 mL de glicerol, esperou-se mais 30 minutos. Passado o tempo, gotejou-se lentamente 30 mL da solução de  $\text{CaCl}_2$  a 1% e aguardou-se mais 30 min. Por fim, a solução foi adicionada a placas grande ( $525\text{ cm}^2$ ) e levada para posterior secagem em estufa a  $40^\circ\text{C}$  por 24 horas. Após a secagem o biopolímero foi removido e envolvido por papel alumínio guardando-o sob refrigeração (temperatura  $10^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ).

## 4.5 Caracterização dos biopolímeros

Os filmes foram caracterizados quanto ao aspecto visual apresentado, conteúdo de umidade ( $\omega$ ), solubilidade (S), espessura ( $\delta$ ), permeabilidade ao vapor de água (PVA), propriedades mecânicas e carotenoides totais.

### 4.5.1 ASPECTO VISUAL E COLORAÇÃO

Essa avaliação foi feita a partir das observações visuais e táteis do filme. O objetivo foi averiguar aspectos como uniformidade, coloração (predominância da cor alaranjada proveniente da cúrcuma), presença ou não de partes quebradiças e ausência ou não de partículas insolúveis.

### 4.5.2 CONTEÚDO DE UMIDADE ( $\omega$ )

O conteúdo de umidade dos biopolímeros em condições de equilíbrio a 52% de UR (umidade relativa) e 25°C foi determinado através de processo gravimétrico de amostras em triplicata de cada ensaio. As amostras dos biopolímeros foram inicialmente cortadas em formato de retângulos, pesadas e submetidas a secagem em estufa a 105°C por 24 horas. Após esse período foram novamente pesadas e determinou-se o conteúdo de umidade através da Equação 3.

$$\omega = \frac{m_i - m_s}{m_i} * 100 \quad (1)$$

onde:

$\omega$  = fração de massa de umidade do biopolímero;

$m_i$  = massa total inicial da amostra em gramas;

$m_s$  = massa seca da amostra em gramas.

### 4.5.3 SOLUBILIDADE EM ÁGUA (S)

O teor de solubilidade (S) dos biopolímeros foi determinado a partir da metodologia de Irissin-Mangata (2001). A qual destaca que a massa ( $m_u$ ) em triplicata de um biopolímero é quantificada sendo imersa em 50 mL de água destilada sob agitação constante por 24 horas numa mesa agitadora (Figura 12). Feito isso, a amostra foi levada a uma estufa para a

determinação da massa seca que não foi solubilizada ( $m_f$ ). O teor de material solubilizado foi determinado como sendo função da massa seca inicial, como segue a Equação 2.

$$S = \left[ \frac{m_u(1 - \omega) - m_f}{m_u(1 - \omega)} \right] * 100 \quad (2)$$

#### 4.5.4 ESPESSURA ( $\delta$ )

A espessura foi mensurada a partir do auxílio de um micrômetro (Figura 11). A espessura final se deu pela média aritmética de dez medições aleatórias sobre o biofilme para ensaio de permeabilidade ao vapor de água (PVA).

#### 4.5.5 PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA (PVA)

A análise de permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi determinada à temperatura ambiente 25°C seguindo as normas do método E95-96 (ASTM, 1995), na qual foi utilizado uma célula de acrílico com tampa que dispunha de uma abertura central afim de se fixar o biopolímero. O fundo da célula foi preenchido por cloreto de cálcio granulado (Isofar, Dinâmica Química Contemporânea, Brasil) para garantir 0% de UR. Essa célula foi depositada em outro ambiente de acrílico com característica de ser hermeticamente fechado (Figura 15). Esse recipiente continha uma solução saturada de NaCl (Isofar, Dinâmica Química Contemporânea, Brasil) afim de se manter o ambiente com 75% de UR, o que garantiu uma diferença de pressão de vapor de água,  $\Delta P_\omega$ . O aumento de massa total da célula, que foi monitorada ao longo do tempo (cerca de 72 horas), corresponde à taxa de água que permeou pelo biopolímero (G) e que foi usado na Equação (3) para calcular a PVA.

$$PVA = \left[ \frac{24}{A_e * \Delta P_\omega * UR} \right] * G * \delta \quad (3)$$

onde:

PVA: permeabilidade de vapor de água do biopolímero [(g.mm)/(m<sup>2</sup>.dia.kPa)];

$\delta$ : é a espessura do biopolímero (mm);

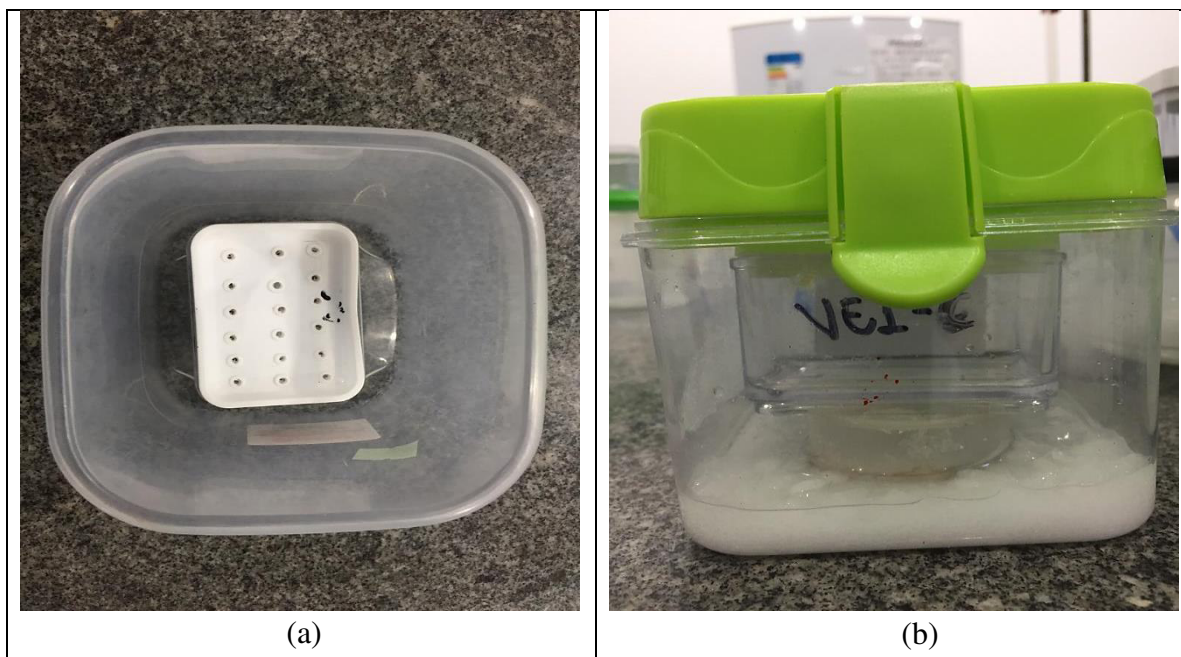
$A_e$ : é a área da superfície exposta do biopolímero (m<sup>2</sup>);

$\Delta P_\omega$ : é a diferença de pressão parcial através do biopolímero (kPa);

G: é o coeficiente angular da reta de ajuste aos pontos experimentais em um gráfico da massa *versus* tempo (g/dia);

UR: é a umidade relativa do segundo recipiente.

**Figura 15** – Aparato experimental para a determinação da PVA. (a) vista de cima; (b) vista frontal.



Fonte: Próprio autor (2022).

#### 4.5.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS

A resistência à tração (RT, MPa), alongamento na ruptura (AL%) e o módulo de elasticidade (ME, MPa) foram determinados diretamente para ambas as formulações em uma máquina de ensaio universal (modelo STANDARD Biopdi, EUA) (Figura 16) em uma temperatura de 25°C ( $\pm 2$  °C) e umidade relativa de 55% ( $\pm 3$ %), conforme método padrão D-882 da ASTM International Methods. As espessuras de um mínimo de doze amostras de filme de 10 cm x 2,5 cm foram pré-determinadas a partir da média aritmética de dez medições feitas em pontos aleatórios nos filmes compostos. Um computador foi usado para registrar as curvas de tensão-deformação e as propriedades de tração foram calculadas usando o software da máquina de teste universal. Uma velocidade de 1 cm / s foi usada no teste de resistência à tração.

**Figura 16** – Máquina de ensaio universal.



Fonte: Próprio autor (2022).

As Equações (4) e (5) foram utilizadas para o cálculo da resistência à tração e alongamento na ruptura, respectivamente:

$$RT = \frac{F_m}{A_0} \quad (4)$$

$$AL = \frac{l_m - l_0}{l_0} \quad (5)$$

Onde:  $F_m$  (N) é a força máxima antes da quebra,  $A_0$  é a área transversal inicial do filme,  $l_m$  é o comprimento máximo ativo e  $l_0$  é o comprimento inicial do filme.

#### 4.5.7 CAROTENOIDES TOTAIS

A determinação do teor de carotenoides totais foi realizada através da metodologia inicialmente proposta por Rodriguez-Amaya (1999), a qual se baseia na extração em acetona e separação em éter de petróleo. A leitura da cor foi realizada por espectrofotômetro (modelo DU – 7 – B340, Beckman, Krefeld, Alemanha) a 450 nm, comprimento de onda  $\beta$ -caroteno. Foi utilizado éter de petróleo puro como branco. As análises foram feitas com a cúrcuma e com os biopolímeros macerados. O cálculo foi feito através da Equação 6.

$$Carotenoides\ Totais = \frac{Abs * V * 10^6}{A_{1\text{ cm}}^{1\%} * m * 100} \quad (6)$$



Onde: Carotenoides Totais é expresso em (mg/g); V é o volume da diluição (mL); Abs é a máxima absorvância média;  $A_{1\text{cm}}^{1\%} = 2592$  é a absortividade para o  $\beta$ -caroteno em éter de petróleo e m é a massa da amostra (g).

#### 4.5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados do Delineamento Composto Central Rotacional foram avaliados utilizando o *software Statistica 9.0*, com a finalidade de assegurar a validade dos coeficientes dos modelos obtidos dentro de um nível de confiança de 90 %, através de análises estatísticas apropriadas. Após a análise estatística dos coeficientes, foi realizada uma análise de variância (ANOVA), que consiste na avaliação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do teste F, verificando se o modelo apresenta um ajuste adequado aos dados experimentais.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os 11 ensaios, os biopolímeros confeccionados com alginato, mesocarpo de coco babaçu contendo cúrcuma (*Curcuma longa L.*) foram caracterizados quanto a umidade, solubilidade, espessura, permeabilidade ao vapor de água, propriedades mecânicas e carotenoides totais. Os biopolímeros também foram sujeitos a avaliações visuais, por exemplo, quanto a homogeneidade, cor, textura.

Com os dados obtidos através dos experimentos descritos na metodologia fez-se uso do *software* Statistica 9.0 (StatSoft, Inc., USA) para obtenção das superfícies de respostas e as curvas de contorno. Através de cálculos por Análise de Variância (ANOVA), foi possível determinar a equação que representa o modelo para cada parâmetro.

Os biofilmes ideais foram aqueles que apresentaram melhores aspectos visuais, que possuíam menores conteúdos de umidade, maior solubilidade em água, menor espessura e menor permeabilidade ao vapor de água.

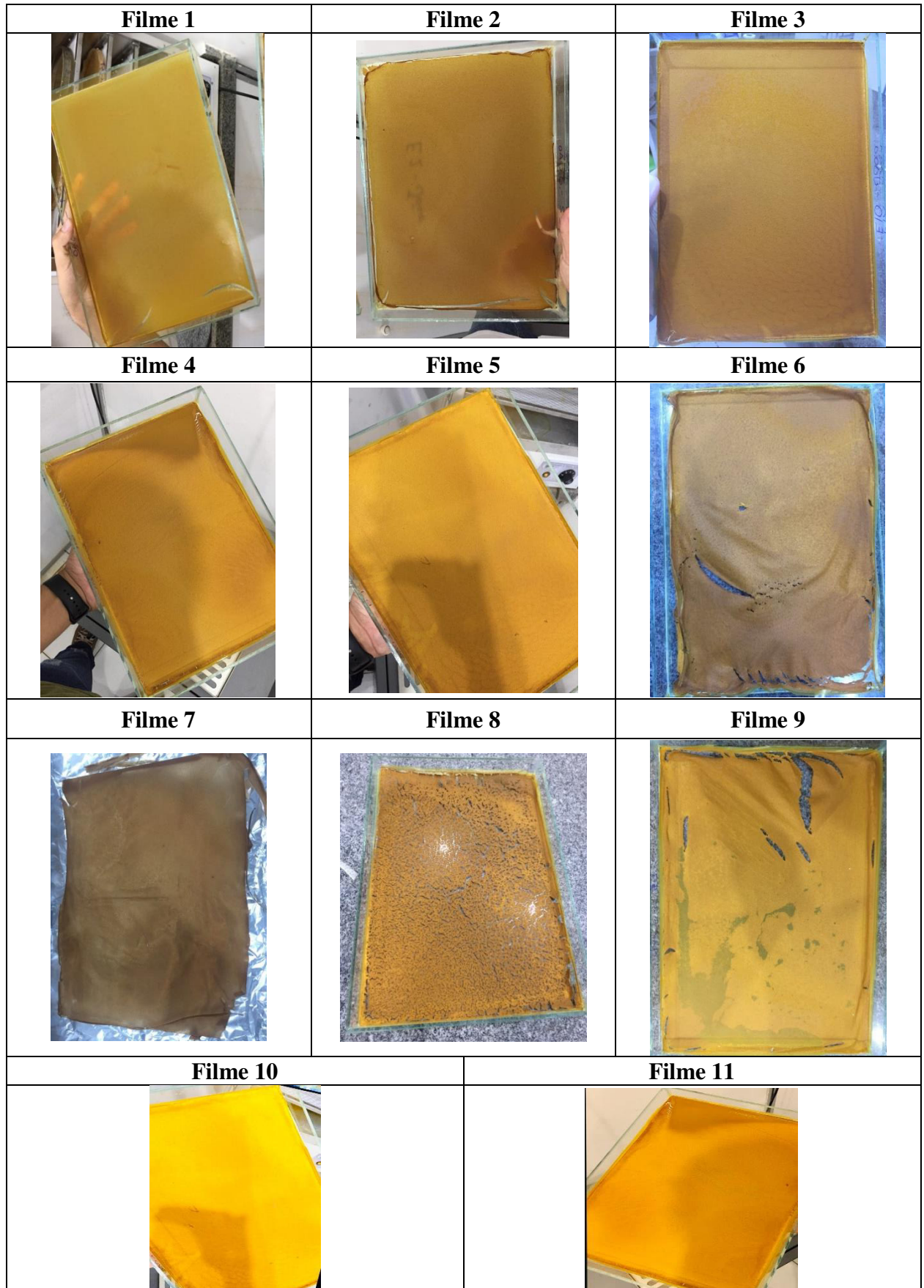
### 5.1 Aspecto visual e táctico

Os biopolímeros confeccionados apresentaram bom aspecto visual e táctil (Figura 15), entretanto não foi obtido uma boa consistência nos filmes 6, 8 e 9, ou seja, apresentaram rupturas que podem auxiliar em falhas nas análises de permeabilidade e propriedades mecânicas, por exemplo. Esses parâmetros foram avaliados de forma subjetiva, visualmente. Apesar disso, os filmes apresentaram uma facilidade de remoção da placa. Para o filme de número 8, não foi obtido uma boa reticulação e plastificação, tendo em vista a grande quantidade de cúrcuma ali presente.

Os biofilmes também apresentaram uma coloração bem próxima à coloração da cúrcuma, por outro lado, o filme de número 7 apresentou uma coloração mais escura devido à presença somente de mesocarpo de babaçu em sua formulação, assim como o filme de número 5 apresentou uma coloração mais amarelada devido à presença somente de cúrcuma.

Quanto ao cheiro, os filmes apresentaram um aroma bastante agradável não tão forte quanto ao da cúrcuma.

**Figura 17** - Filmes obtidos na confecção dos biopolímeros.



Fonte: Próprio autor (2022).

## 5.2 Conteúdo de umidade e solubilidade em água

Os resultados referentes ao conteúdo de umidade ( $\omega$ ) e solubilidade em água (S) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com as diferentes concentrações de cúrcuma (*Curcuma longa L.*) são mostrados na Tabela 3.

**Tabela 3** – Conteúdo de umidade ( $\omega$ ) e solubilidade em água (S) de biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Ensaio | Umidade (%)* | Solubilidade (%)* |
|--------|--------------|-------------------|
| 1      | 18,15±0,02   | 33,44±0,06        |
| 2      | 26,27±0,06   | 21,07±0,04        |
| 3      | 24,89±0,01   | 35,20±0,13        |
| 4      | 21,65±0,18   | 23,20±0,03        |
| 5      | 21,81±0,08   | 25,93±0,06        |
| 6      | 13,19±0,01   | 96,17±0,01        |
| 7      | 23,49±0,03   | 25,94±0,06        |
| 8      | 18,94±0,00   | 21,07±0,02        |
| 9      | 20,49±0,00   | 22,60±0,00        |
| 10     | 20,35±0,03   | 23,68±0,01        |
| 11     | 20,16±0,02   | 23,65±0,01        |

\*Média  $\pm$  desvio padrão das repetições. Fonte: Próprio autor (2022)

De acordo com a Tabela 3, pode-se observar que o conteúdo de umidade dos filmes apresentou valores próximos para os 11 ensaios, porém o ensaio 6 foi o que houve menor variação do teor de umidade, no entanto, este ensaio foi o produzido com a metade mesocarpo de coco babaçu/metade cúrcuma. O teor de umidade médio foi de 20,85 g/100 g de massa seca, o que varia em torno de 13,19 a 26,27 % valor este próximo ao obtido por Turbiani (2011) que foi de 18 % para biopolímeros compostos de alginato de sódio reticulado com benzoato de cálcio e de 19,5 % para biofilmes reticulados com cloreto de cálcio. Já Maniglia et al. (2017) obteve uma variação de 7,33 a 11,82 % para filmes elaborados com farinha de amido e mesocarpo de coco babaçu, o que foi bem baixo em relação ao encontrado nesse estudo.

Um fator de grande influência na umidade dos biopolímeros é a umidade relativa referente ao local de armazenamento destes, assim como o teor de glicerol, pois é um composto higroscópico, ou seja, possui grande facilidade de promover umidade ao filme conforme a sua concentração (CHIVRAC et al., 2010).

A solubilidade em água dos biopolímeros também apresentou bastante proximidade nos valores, o que pode ser observado na análise estatística, entretanto o ensaio 6 foi o que houve uma maior variação do teor de solubilidade em água. A solubilidade dos biopolímeros em média foi de 40 %, que varia entre 21,07 a 96,17 %. Maniglia et al. (2017), por outro lado, obteve valores variando entre 24,32 a 39,02 % para filmes com farinha de amido e mesocarpo de coco babaçu, valores que estão dentro da faixa dos encontrados nesse estudo. No entanto, como podemos observar na Tabela 3, biopolímeros de alginato, são bastantes solúveis em água. Elevado teor de solubilidade não desqualifica a utilização do filme, tudo depende da aplicação deste. Janjarasskul et al. (2020) destacaram que biofilmes com alto teor de solubilidade são aplicados como embalagens que necessitam de uma rápida degradação, ou não necessitam de teores baixos de solubilidade em água, como acontece com alimentos secos ou desidratados que apresentam menor atividade em água, por exemplo.

Para a análise estatística, foram calculados os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas estudadas, bem como o erro, o coeficiente t de student e a significância estatística (p). Após a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste a um nível de significância de 10 %, através de uma Análise de Variância (ANOVA), utilizando o teste F para o planejamento experimental estudado.

Nas Tabelas 4 a 5 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares (L), quadráticos (Q) e das interações, respectivamente, para a resposta conteúdo de umidade e solubilidade em água dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

**Tabela 4** - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta conteúdo de umidade (%) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| <b>Fatores</b>       | <b>Efeito estimado</b> | <b>Erro padrão</b> | <b>t (5)</b> | <b>p – valor</b> |
|----------------------|------------------------|--------------------|--------------|------------------|
| Média                | 20,33                  | 0,096              | 212,633      | 0,000*           |
| Conc. de MCB (L)     | -1,78                  | 0,117              | -15,178      | 0,004*           |
| Conc. de MCB (Q)     | -1,17                  | 0,139              | -8,372       | 0,014*           |
| Conc. de Cúrcuma (L) | -1,13                  | 0,117              | -9,637       | 0,011*           |
| Conc. de Cúrcuma (Q) | 2,55                   | 0,139              | 18,278       | 0,003*           |
| MCB x Cúrcuma        | -5,58                  | 0,166              | -33,690      | 0,001*           |

\* Significativo a  $p \leq 0,10$ ; MCB = mesocarpo de coco babaçu. Fonte: Próprio autor (2022).

**Tabela 5** - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta solubilidade em água (%) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| <b>Fatores</b>       | <b>Efeito estimado</b> | <b>Erro padrão</b> | <b>t (5)</b> | <b>p – valor</b> |
|----------------------|------------------------|--------------------|--------------|------------------|
| Média                | 23,64                  | 0,023              | 1013,286     | 0,000*           |
| Conc. de MCB (L)     | 18,74                  | 0,029              | 655,802      | 0,000*           |
| Conc. de MCB (Q)     | 30,38                  | 0,034              | 893,214      | 0,000*           |
| Conc. de Cúrcuma (L) | -0,75                  | 0,029              | -26,220      | 0,001*           |
| Conc. de Cúrcuma (Q) | -7,16                  | 0,034              | -210,600     | 0,000*           |
| MCB x Cúrcuma        | 0,18                   | 0,040              | 4,578        | 0,045*           |

\* Significativo a  $p \leq 0,10$ ; MCB = mesocarpo de coco babaçu. Fonte: Próprio autor (2022).

De acordo com as Tabela 4 e 5, para o conteúdo de umidade e solubilidade em água dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu adicionado de cúrcuma, os parâmetros estudados apresentaram significância ( $p \leq 0,10$ ). A concentração de MCB linear e quadrática assim como as de cúrcuma influenciaram estas respostas.

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 90 % de confiança ( $p \leq 0,10$ ), através do teste F, na Análise de Variância para as respostas umidade e solubilidade em água, respectivamente (Tabelas 6 e 7).

**Tabela 6** - ANOVA do modelo ajustado para a resposta conteúdo de umidade (%) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| <b>Fonte de variação</b> | <b>SQ</b> | <b>GL</b> | <b>QM</b> | <b>F<sub>Calculado</sub></b> | <b>F<sub>Tabelado</sub></b> |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------------------|-----------------------------|
| Regressão                | 54,85     | 5         | 10,97     | 0,80                         | 3,40                        |
| Resíduos                 | 68,27     | 5         | 13,65     |                              |                             |
| - Falta de ajuste        | 68,22     | 3         | 22,74     | 828,92                       | 9,16                        |
| - Erro puro              | 0,05      | 2         | 0,03      |                              |                             |
| Total                    | 123,12    | 10        | 12,31     | $R^2 = 44,55\%$              |                             |

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Próprio autor (2022).

**Tabela 7** - ANOVA do modelo ajustado para a resposta solubilidade em água (%) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

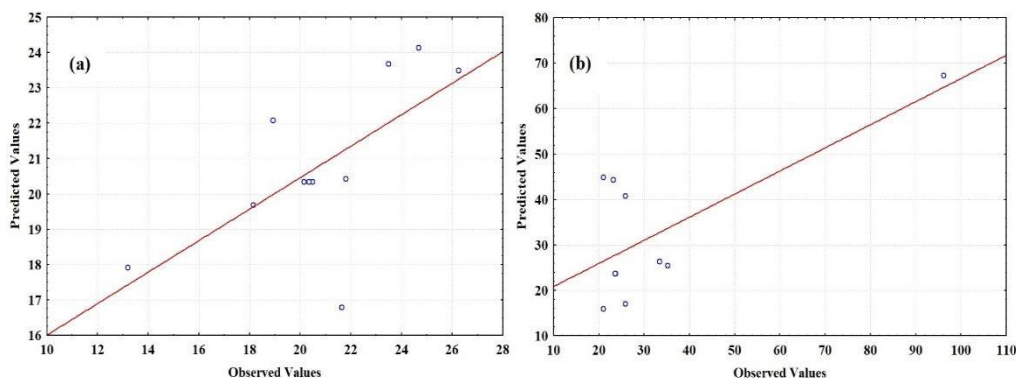
| Fonte de variação | SQ      | GL | QM     | F <sub>Calculado</sub>  | F <sub>Tabelado</sub> |
|-------------------|---------|----|--------|-------------------------|-----------------------|
| Regressão         | 2407,29 | 5  | 481,46 | 1,04                    | 3,40                  |
| Resíduos          | 2322,17 | 5  | 464,43 |                         |                       |
| - Falta de ajuste | 2322,17 | 3  | 774,06 | 473912,18               | 9,16                  |
| - Erro puro       | 0,003   | 2  | 0,00   |                         |                       |
| Total             | 4729,46 | 10 | 472,95 | R <sup>2</sup> = 50,90% |                       |

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Próprio autor (2022).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado para as respostas conteúdo de umidade e solubilidade em água, respectivamente, foram de aproximadamente 0,45 e 0,51, indicando que os modelos explicaram 44,55% e 50,90% da variação dos dados observados. Como estes  $R^2$  foram muito baixos, mesmo considerando que é um produto biológico (RODRIGUES e LEMMA, 2014), valores aceitáveis são acima de 70%. Sendo assim, os coeficientes de determinação foram muito baixos para se obterem modelos e superfícies de respostas. Entretanto, todas as variáveis independentes influenciaram estas respostas.

Analisando o  $F_{\text{calculado}}$  e  $F_{\text{tabelado}}$ , pode-se observar que os modelos para ambas as respostas não apresentaram regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ), porém apresentaram falta de ajuste em relação ao erro puro significativa no mesmo nível de confiança ( $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ). Portanto, os modelos ajustados para o conteúdo de umidade e solubilidade em água dos biopolímeros de alginato e MCB aditivados com cúrcuma foram considerados não preditivos. Pode-se verificar melhor, visualizando a Figura 18, que mostra os valores observados versus os valores preditos dos modelos.

Os valores experimentais de conteúdo de umidade (Figura 18a) e solubilidade em água (Figura 18b) ficaram muitos dispersos dos valores observados pelos modelos, mostrando uma correlação não muito boa entre as quantidades escolhidas de concentrações de MCB e cúrcuma trabalhadas.



**Figura 18** - Valores preditos versus valores observados para as respostas: (a) conteúdo de umidade e (b) solubilidade em água dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. Fonte: Próprio autor (2022).

### 5.3 Espessura ( $\delta$ ) e permeabilidade ao vapor de água (PVA)

Os resultados de espessura e permeabilidade ao vapor de água dos biopolímeros de alginato de alginato e MCB aditivados com cúrcuma com as diferentes concentrações de MCB e cúrcuma são apresentados na Tabela 8. Os valores dos ensaios experimentais de espessura forneceram um valor médio de 0,33% variando de 0,16 a 0,73 mm, valores pouco mais altos que os encontrados por Bierhalz, Silva e Kieckbusch (2012), que teve variação de 0,31 a 0,35 mm, estudando filmes biodegradáveis de alginato de sódio reticulado com cálcio. Já Bierhalz (2010), em seu estudo sobre a confecção de filmes à base de pectina e alginato obteve uma variação de espessura igual a 0,29 a 0,33 mm. Já Urbano (2017), em seu estudo, encontrou valores de espessura variando em torno de 0,644 a 0,682 mm. Entretanto, valores próximos foram encontrados no estudo de Santos (2018) que foi de 0,42% na obtenção de biofilmes comestíveis de carboximetilcelulose contendo *Curcuma longa* e nanopartículas de quitosana. Por outro lado, podemos verificar que os valores de espessura desse trabalho apresentam valores próximos, logo, Bierhalz et al. (2014) defende que valores de espessura próximos são importantes para fins de comparação de propriedades dos filmes, como por exemplo a PVA, pois estão diretamente atrelados.

Para a resposta PVA, a variação foi de 6,14 a 53,81 g.mm/m<sup>2</sup>.dia.kPa, com valor médio de 18,02 g.mm/m<sup>2</sup>.dia.kPa. De acordo com Krochta e Mulder-Jonhston (1997), valores de PVA entre 10-100 é considerado pobre, de 0,10-10 moderada e boa de 0,01-0,10 g.mm/(m<sup>2</sup>.dia.kPa). A partir dessa análise, os valores de PVA obtidos nesse estudo se apresentam na faixa pobre. Valores de PVA obtidos por Bierhalz, Silva e Kieckbusch (2012) para biofilmes à base de alginato reticulado com 1% de cálcio foi de 10,07 g.mm/(m<sup>2</sup>.dia.kPa), o que apresenta valores



pouco próximos aos encontrados nesse estudo. Jost et al. (2014) afirmaram que a permeabilidade ao vapor de água é um processo de difusão e dissolução, ou seja, é regida pela concentração e pela estrutura dos componentes que formam a matriz, assim como são dependentes da cinética de formação, grau de reticulação, cristalinidade e forças de ligação entre as cadeias.

**Tabela 8** - Espessura e permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Ensaio | Espessura (mm)* | PVA (g.mm/m <sup>2</sup> .dia.kPa)* |
|--------|-----------------|-------------------------------------|
| 1      | 0,23±0,01       | 8,79±0,47                           |
| 2      | 0,22±0,00       | 7,71±0,31                           |
| 3      | 0,31±0,01       | 12,37±1,82                          |
| 4      | 0,38±0,03       | 14,71±0,94                          |
| 5      | 0,26±0,01       | 8,12±0,03                           |
| 6      | 0,31±0,02       | 9,37±0,60                           |
| 7      | 0,16±0,00       | 6,14±0,60                           |
| 8      | 0,73±0,12       | 53,81±10,67                         |
| 9      | 0,30±0,02       | 26,17±5,32                          |
| 10     | 0,36±0,03       | 27,26±1,49                          |
| 11     | 0,33±0,02       | 23,82±1,98                          |

\*Média ± desvio padrão das repetições. Fonte: Próprio autor (2022).

A análise estatística foi feita através de cálculos para os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas estudadas, assim como o erro, o coeficiente t de student e a significância estatística (p). Após a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste a um nível de confiança de 90% ( $p \leq 0,10$ ), através de uma Análise de Variância (ANOVA), utilizando o teste F para o planejamento experimental estudado.

Nas Tabelas 9 e 10 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações, respectivamente, para as respostas espessura e permeabilidade ao vapor de água dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

**Tabela 9** - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta espessura (mm) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fatores              | Efeito estimado | Erro padrão | t (5)  | p – valor |
|----------------------|-----------------|-------------|--------|-----------|
| Média                | 0,33            | 0,017       | 19,053 | 0,003*    |
| Conc. de MCB (L)     | 0,03            | 0,021       | 1,540  | 0,263     |
| Conc. de MCB (Q)     | -0,08           | 0,025       | -3,367 | 0,078*    |
| Conc. de Cúrcuma (L) | 0,26            | 0,021       | 12,328 | 0,007*    |
| Conc. de Cúrcuma (Q) | 0,08            | 0,025       | 2,970  | 0,097*    |
| MCB x Cúrcuma        | 0,04            | 0,030       | 1,333  | 0,314     |

\* Significativo a  $p \leq 0,10$ ; MCB = mesocarpo de coco babaçu. Fonte: Próprio autor (2022).

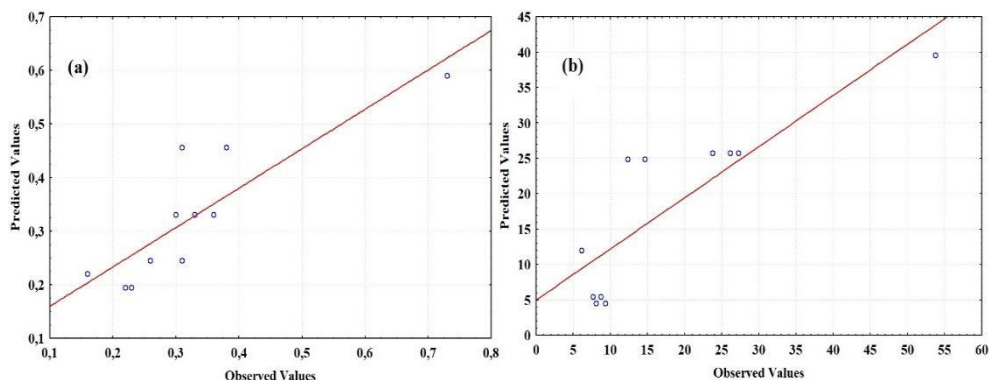
**Tabela 10** - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta permeabilidade ao vapor de água ( $\text{g.mm/m}^2.\text{dia.kPa}$ ) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fatores              | Efeito estimado | Erro padrão | t (5)   | p – valor |
|----------------------|-----------------|-------------|---------|-----------|
| Média                | 25,75           | 1,015       | 25,369  | 0,002*    |
| Conc. de MCB (L)     | 0,76            | 1,243       | 0,609   | 0,605     |
| Conc. de MCB (Q)     | -21,24          | 1,480       | -14,353 | 0,005*    |
| Conc. de Cúrcuma (L) | 19,50           | 1,243       | 15,685  | 0,004*    |
| Conc. de Cúrcuma (Q) | -0,01           | 1,480       | -0,005  | 0,996     |
| MCB x Cúrcuma        | 1,71            | 1,758       | 0,973   | 0,433     |

\* Significativo a  $p \leq 0,10$ ; MCB = mesocarpo de coco babaçu. Fonte: Próprio autor (2022).

De acordo com as Tabelas 9 e 10, para a espessura e PVA, respectivamente, dos biopolímeros de alginato e MCB adicionado de cúrcuma, os efeitos dos parâmetros concentração de MCB linear e a interação MCB x cúrcuma não foram significantes ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ). Para o PVA, além parâmetros apresentados, os efeitos das concentrações quadráticas da cúrcuma também não influenciaram essa resposta. Entretanto, as demais variáveis independentes contribuíram nessas respostas.

Os valores experimentais de espessura (Figura 19a) e PVA (Figura 19b) ficaram menos dispersos dos valores observados pelos modelos, mostrando uma correlação regular entre as quantidades escolhidas de concentrações de MCB e cúrcuma trabalhadas.



**Figura 19** - Valores preditos versus valores observados para as respostas: (a) espessura e (b) PVA dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

Fonte: Próprio autor (2022).

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 10 % de significância ( $p \leq 0,10$ ), através do teste F, na Análise de Variância para as respostas espessura e PVA, respectivamente (Tabela 11 e 12).

**Tabela 11** - ANOVA do modelo ajustado para a resposta espessura (mm) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fonte de variação | SQ   | GL | QM   | F <sub>Calculado</sub> | F <sub>Tabelado</sub> |
|-------------------|------|----|------|------------------------|-----------------------|
| Regressão         | 0,16 | 3  | 0,05 | 6,49                   | 3,07                  |
| Resíduos          | 0,06 | 7  | 0,01 |                        |                       |
| - Falta de ajuste | 0,06 | 5  | 0,01 | 12,58                  | 9,29                  |
| - Erro puro       | 0,00 | 2  | 0,00 |                        |                       |
| Total             | 0,22 | 10 | 0,02 | $R^2 = 73,55\%$        |                       |

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Próprio autor (2022).

**Tabela 12** - ANOVA do modelo ajustado para a resposta permeabilidade ao vapor de água ( $\text{g}\cdot\text{mm}/\text{m}^2\cdot\text{dia}\cdot\text{kPa}$ ) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fonte de variação | SQ      | GL | QM     | F <sub>Calculado</sub> | F <sub>Tabelado</sub> |
|-------------------|---------|----|--------|------------------------|-----------------------|
| Regressão         | 1457,32 | 2  | 728,66 | 10,46                  | 3,11                  |
| Resíduos          | 557,38  | 8  | 69,67  |                        |                       |
| - Falta de ajuste | 551,20  | 6  | 91,87  | 29,72                  | 9,33                  |
| - Erro puro       | 6,18    | 2  | 3,09   |                        |                       |
| Total             | 2014,70 | 10 | 201,47 | $R^2 = 72,33\%$        |                       |

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Próprio autor (2022).

O Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para os modelos ajustados para as respostas espessura e PVA foram de 73,55 % e 72,33 %, respectivamente. Estes  $R^2$  foram considerados muito bons e com isto foi possível obter modelos e superfícies de respostas.

Os modelos apresentaram regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ( $F_{\text{Calculado}} > F_{\text{Tabelado}}$ ) para as respostas espessura e PVA. Portanto, os modelos ajustados para a espessura e PVA dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma foram considerados preditivos. Entretanto, analisando em função da falta de ajuste em relação ao erro puro, os modelos ajustados foram considerados preditivos, mas com falta de ajuste em relação ao erro puro ( $F_{\text{calculado}}$  superior ao  $F_{\text{tabelado}}$ ). Isso ocorreu devido ao fato de a média quadrática ( $QM$ ) do erro puro apresentar um valor muito inferior à  $QM$  da falta de ajuste (devido à boa repetibilidade dos ensaios nos pontos centrais). Isso faz com que a razão entre eles resulte num valor muito alto.

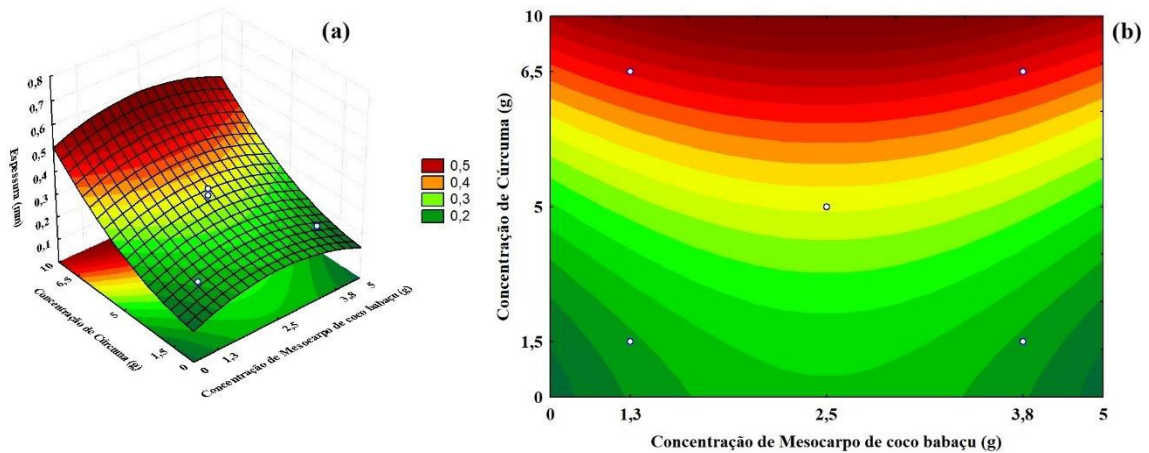
Os modelos codificados propostos para representarem a espessura e PVA dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma, estão descritos pelas Equações 7 e 8, respectivamente.

$$\mathbf{Espessura[mm] = 0,33 - 0,04C_{MCB}^2 + 0,13C_C + 0,04C_C^2} \quad (7)$$

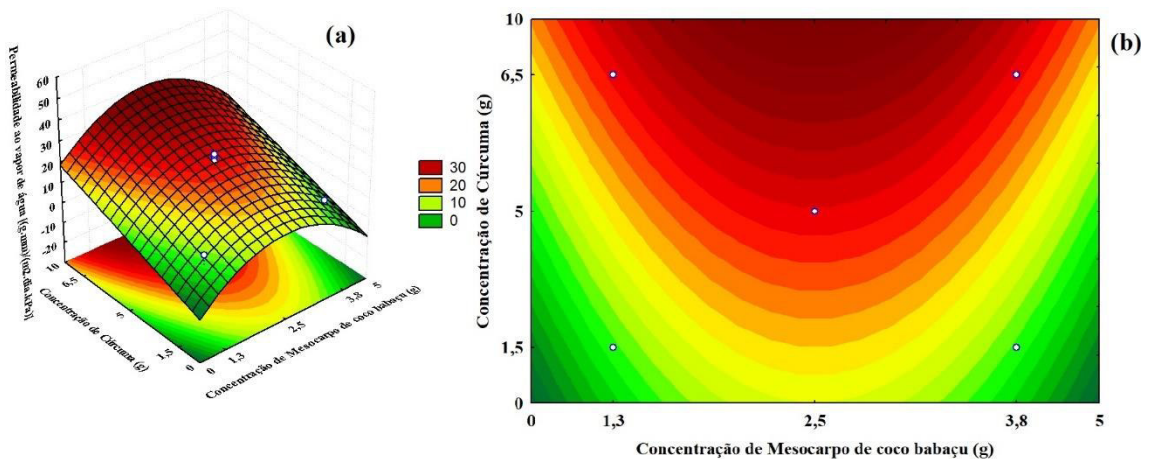
$$\mathbf{PVA[g \cdot mm/m^2 \cdot dia \cdot kPa] = 25,75 - 10,62C_{MCB}^2 + 9,75C_C} \quad (8)$$

Onde:  $C_{MCB}$  representa a variável concentração de mesocarpo de coco babaçu e  $C_C$  representa a variável concentração de cúrcuma.

Nas Figuras 20 e 21, encontram-se as superfícies de respostas e curvas de contorno para as respostas espessura e PVA dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. Os valores mais baixos de espessura e PVA foram encontrados nas menores concentrações de cúrcuma e nas menores e maiores concentrações de MCB.



**Figura 20** - Superfícies de resposta (a) e curva de contorno (b) para a espessura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. Fonte: Próprio autor (2022).



**Figura 21** - Superfícies de resposta (a) e curva de contorno (b) para a PVA dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. Fonte: Próprio autor (2022).

#### 5.4 Propriedades mecânicas

Os resultados de Tensão na ruptura, Elongação na ruptura e Módulo de Young dos biopolímeros de alginato e MCB aditivados com cúrcuma com as diferentes concentrações de MCB e cúrcuma são apresentados na Tabela 13. Os valores dos ensaios experimentais de Tensão na ruptura variaram de 0,07 a 4,80 MPa, valores distantes dos encontrados por Kin, Ko e Park (2002), que teve variação de 9,7 a 15,3 MPa, estudando filmes a base de amido plastificados com glicerol, xilitol e manitol. Por outro lado, Zactiti e Kieckbusch (2006) obtiveram valores de 17,75 a 23,70 Mpa para filmes a base de alginato de sódio reticulado com cálcio. Valores muito distante dos encontrados nesse trabalho. Para a resposta Elongação na ruptura, a variação foi de 3,99 a 50,81 %, com valor médio de 15,24 %. Este valor foi inferior

ao obtido por Zactiti e Kieckbusch (2006) que variou de 27,35 a 36,81%, estudando as propriedades de filmes de alginato reticulado com cálcio. Já para a resposta ao Módulo de Young obteve-se uma variação de 1,07 a 57,29 Mpa, valor inferior ao encontrado por Kloster et al. (2017), que foi de 673,0 a 113,0 Mpa. Logo, os valores encontrados na literatura mostram que os resultados obtidos nesse trabalho são significativamente inferiores.

**Tabela 13** - Tensão na ruptura, Elongação na ruptura e Módulo de Young dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Ensaio | Tensão de ruptura (MPa)* | Elongação de ruptura (%)* | Módulo de Young (MPa)* |
|--------|--------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1      | 2,12±0,39                | 25,39±4,23                | 7,73±2,60              |
| 2      | 3,15±0,83                | 30,48±16,54               | 15,37±11,68            |
| 3      | 1,93±0,21                | 6,28±1,29                 | 36,95±8,17             |
| 4      | 2,54±1,94                | 5,99±2,87                 | 57,29±34,79            |
| 5      | 3,90±1,22                | 14,01±5,18                | 26,30±2,14             |
| 6      | 4,28±0,54                | 11,61±4,09                | 40,56±12,93            |
| 7      | 4,80±0,46                | 50,81±13,37               | 7,79±2,55              |
| 8      | 0,07±0,02                | 4,17±1,47                 | 1,07±0,08              |
| 9      | 0,48±0,10                | 3,99±1,33                 | 12,53±1,97             |
| 10     | 1,01±0,22                | 9,76±1,88                 | 11,81±3,14             |
| 11     | 0,91±0,20                | 5,20±1,47                 | 18,78±2,92             |

\*Média ± desvio padrão das repetições. Fonte: Próprio autor (2022).

Foram calculados os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas estudadas, bem como o erro, o coeficiente t de student e a significância estatística (p) afim de se obter a análise estatística dos dados. Após a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste a um nível de confiança de 90% ( $p \leq 0,10$ ), através de uma Análise de Variância (ANOVA), utilizando o teste F para o planejamento experimental estudado.

Nas Tabelas 14, 15 e 16 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações, respectivamente, para as respostas Tensão na ruptura, Elongação na ruptura e Módulo de Young dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

**Tabela 14** - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta Tensão na ruptura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fatores              | Efeito estimado | Erro padrão | t (5)  | p – valor |
|----------------------|-----------------|-------------|--------|-----------|
| Média                | 0,80            | 0,163       | 4,911  | 0,039*    |
| Conc. de MCB (L)     | 0,54            | 0,199       | 2,731  | 0,112     |
| Conc. de MCB (Q)     | 2,87            | 0,237       | 12,113 | 0,007*    |
| Conc. de Cúrcuma (L) | -1,87           | 0,199       | -9,395 | 0,011*    |
| Conc. de Cúrcuma (Q) | 1,22            | 0,237       | 5,150  | 0,036*    |
| MCB x Cúrcuma        | -0,20           | 0,282       | -0,724 | 0,544     |

\* Significativo a  $p \leq 0,10$ ; MCB = mesocarpo de coco babaçu. Fonte: Próprio autor (2022).

**Tabela 15** - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta Elongação na ruptura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fatores              | Efeito estimado | Erro padrão | t (5)   | p – valor |
|----------------------|-----------------|-------------|---------|-----------|
| Média                | 6,32            | 1,757       | 3,594   | 0,069*    |
| Conc. de MCB (L)     | 0,36            | 2,152       | 0,166   | 0,883     |
| Conc. de MCB (Q)     | 4,94            | 2,561       | 1,928   | 0,194     |
| Conc. de Cúrcuma (L) | -27,39          | 2,152       | -12,727 | 0,006*    |
| Conc. de Cúrcuma (Q) | 19,62           | 2,561       | 7,659   | 0,017*    |
| MCB x Cúrcuma        | -2,69           | 3,043       | -0,883  | 0,470     |

\* Significativo a  $p \leq 0,10$ ; MCB = mesocarpo de coco babaçu. Fonte: Próprio autor (2022).

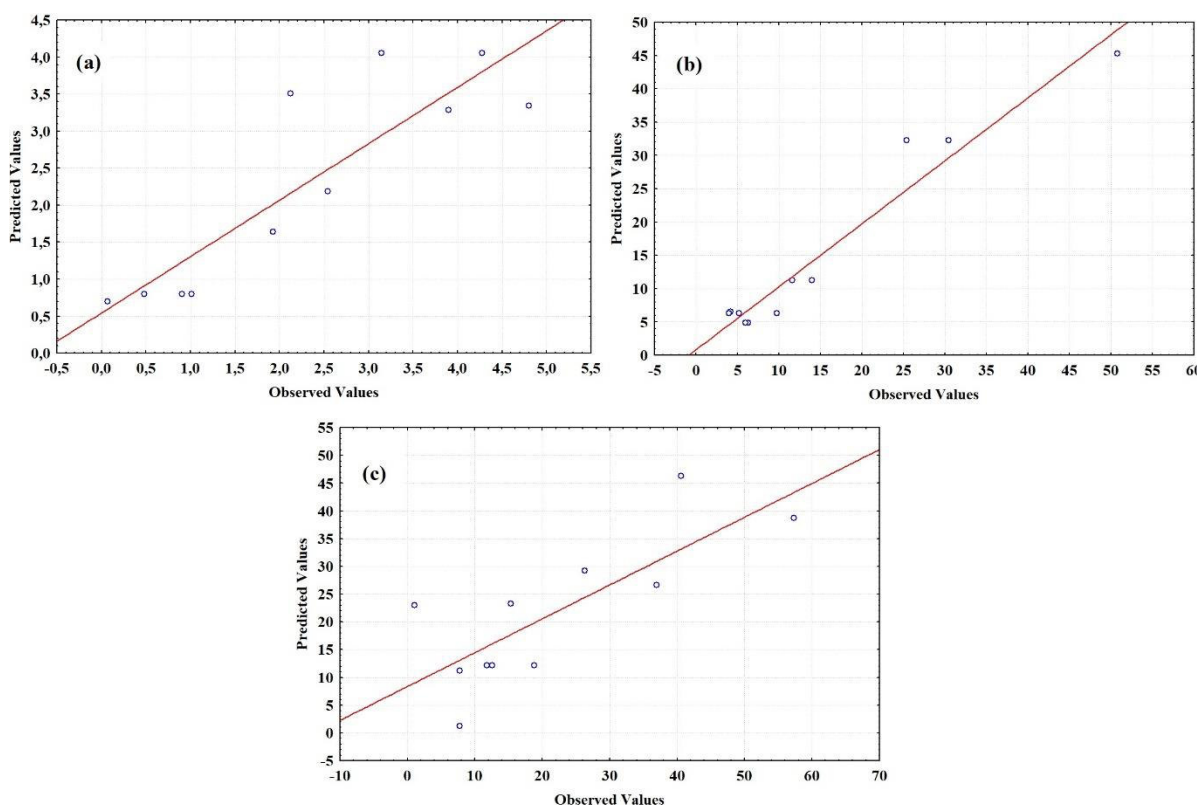
**Tabela 16** - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta Módulo de Young dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fatores              | Efeito estimado | Erro padrão | t (5)  | p – valor |
|----------------------|-----------------|-------------|--------|-----------|
| Média                | 14,37           | 2,214       | 6,492  | 0,023*    |
| Conc. de MCB (L)     | 12,04           | 2,712       | 4,438  | 0,047*    |
| Conc. de MCB (Q)     | 24,26           | 3,228       | 7,515  | 0,017*    |
| Conc. de Cúrcuma (L) | 15,41           | 2,712       | 5,681  | 0,030*    |
| Conc. de Cúrcuma (Q) | -4,74           | 3,228       | -1,469 | 0,280     |
| MCB x Cúrcuma        | 6,35            | 3,835       | 1,655  | 0,240     |

\* Significativo a  $p \leq 0,10$ ; MCB = mesocarpo de coco babaçu. Fonte: Próprio autor (2022).

De acordo com as Tabelas 14 e 15, para a Tensão na ruptura e Elongação na ruptura, respectivamente, dos biopolímeros de alginato e MCB adicionado de cúrcuma, os efeitos dos parâmetros concentração de MCB linear e a interação MCB x cúrcuma não foram significantes ao nível de 90% de confiança ( $p \leq 0,10$ ). Para a Elongação na ruptura, além parâmetros apresentados, os efeitos das concentrações quadráticas do MCB também não influenciaram essa resposta. Entretanto, as demais variáveis independentes contribuíram nessas respostas. Por outro lado, analisando a Tabela 16 para o Módulo de Young, as variáveis que influenciaram esta resposta foram: concentração de MCB linear e quadrático e concentração de cúrcuma linear. Isto indica que a estas variáveis independentes positivamente esta resposta.

Os valores experimentais de Tensão de ruptura (Figura 22a), Elongação de ruptura (Figura 22b) e Módulo de Young (Figura 22c) ficaram mais distribuídos em relação aos valores observados pelos modelos, apresentando uma maior concentração dos dados até os pontos centrais.



**Figura 22** - Valores preditos versus valores observados para as respostas: (a) Tensão na ruptura, (b) Elongação na ruptura e (c) Módulo de Young dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. Fonte: Próprio autor (2022).

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 10 % de significância ( $p \leq 0,10$ ), através do teste F,



na Análise de Variância para as respostas espessura e PVA, respectivamente (Tabela 17, 18 e 19).

**Tabela 17** - ANOVA do modelo ajustado para a resposta Tensão na ruptura (Mpa) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fonte de variação | SQ    | GL | QM   | F <sub>Calculado</sub>  | F <sub>Tabelado</sub> |
|-------------------|-------|----|------|-------------------------|-----------------------|
| Regressão         | 19,49 | 4  | 4,87 | 4,86                    | 2,56                  |
| Resíduos          | 6,06  | 6  | 1,01 |                         |                       |
| - Falta de ajuste | 5,91  | 4  | 1,48 | 18,57                   | 9,40                  |
| - Erro puro       | 0,16  | 2  | 0,08 |                         |                       |
| Total             | 25,56 | 10 | 2,56 | R <sup>2</sup> = 76,27% |                       |

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Próprio autor (2022).

**Tabela 18** - ANOVA do modelo ajustado para a resposta Elongação na ruptura (%) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fonte de variação | SQ      | GL | QM     | F <sub>Calculado</sub>  | F <sub>Tabelado</sub> |
|-------------------|---------|----|--------|-------------------------|-----------------------|
| Regressão         | 2044,46 | 3  | 681,49 | 41,04                   | 3,18                  |
| Resíduos          | 116,24  | 7  | 16,61  |                         |                       |
| - Falta de ajuste | 97,72   | 5  | 19,54  | 2,11                    | 9,29                  |
| - Erro puro       | 18,52   | 2  | 9,26   |                         |                       |
| Total             | 2160,70 | 10 | 216,07 | R <sup>2</sup> = 94,62% |                       |

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Próprio autor (2022).

**Tabela 19** - ANOVA do modelo ajustado para a resposta Módulo de Young (MPa) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fonte de variação | SQ      | GL | QM     | F <sub>Calculado</sub>  | F <sub>Tabelado</sub> |
|-------------------|---------|----|--------|-------------------------|-----------------------|
| Regressão         | 1781,25 | 3  | 593,75 | 3,65                    | 3,07                  |
| Resíduos          | 1138,67 | 7  | 162,67 |                         |                       |
| - Falta de ajuste | 1109,26 | 5  | 221,85 | 15,08                   | 9,29                  |
| - Erro puro       | 29,42   | 2  | 14,71  |                         |                       |
| Total             | 2919,92 | 10 | 291,99 | R <sup>2</sup> = 61,00% |                       |

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Próprio autor (2022).

O Coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) para os modelos ajustados para as respostas Tensão e Elongação na ruptura foram de 76,27 % e 94,62 %, respectivamente. Estes R<sup>2</sup> foram

considerados muito bons e com isto foi possível obter modelos e superfícies de respostas. Entretanto, para a resposta Módulo de Young o  $R^2$  encontrado foi de 61,00%. Este valor foi muito baixo, considerando produtos biológicos (RODRIGUES e LEMMA, 2014).

Os modelos apresentaram regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ( $F_{\text{Calculado}} > F_{\text{Tabelado}}$ ) para estas respostas (Tensão e Elongação na ruptura e Módulo de Young). Portanto, os modelos ajustados dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma foram considerados preditivos. Entretanto, analisando em função da falta de ajuste em relação ao erro puro, os modelos ajustados foram considerados preditivos, mas com falta de ajuste em relação ao erro puro ( $F_{\text{calculado}}$  superior ao  $F_{\text{tabelado}}$ ) para as respostas Tensão na ruptura e Módulo de Young. Isso ocorreu devido ao fato de a média quadrática ( $QM$ ) do erro puro apresentar um valor muito inferior à  $QM$  da falta de ajuste (devido à boa repetibilidade dos ensaios nos pontos centrais). Isso faz com que a razão entre eles resulte num valor muito alto. Em contrapartida, para a resposta Elongação na ruptura, a falta de ajuste em relação ao erro puro foi menor ( $F_{\text{calculado}}$  inferior ao  $F_{\text{tabelado}}$ ), indicando que não houve uma boa repetitividade dos dados estudados.

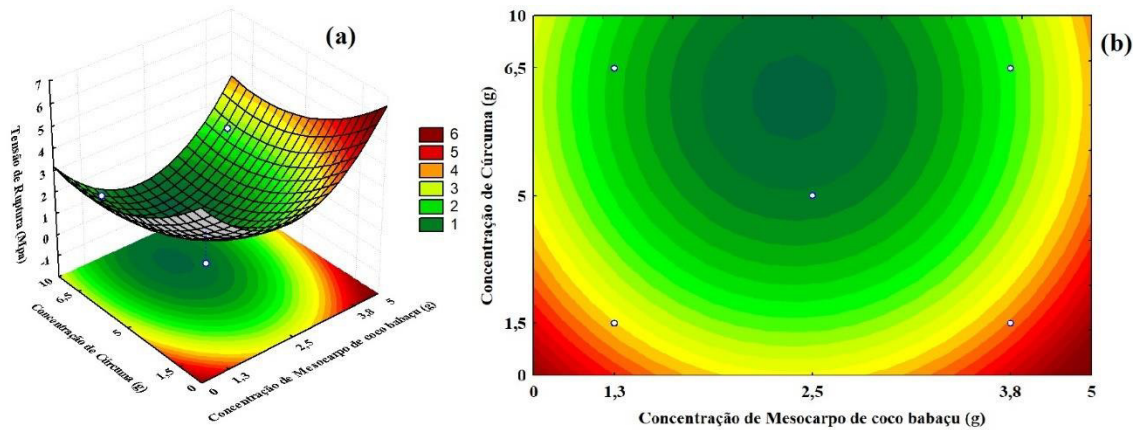
Os modelos codificados propostos para representarem a Tensão na ruptura e Elongação na ruptura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma, estão descritos pelas Equações 9 e 10, respectivamente.

$$\textit{Tensão de ruptura}[\text{MPa}] = 0,80 + 0,27C_{\text{MCB}} + 1,44C_{\text{MCB}}^2 - 0,94C_{\text{C}} + 0,61C_{\text{C}}^2 \quad (9)$$

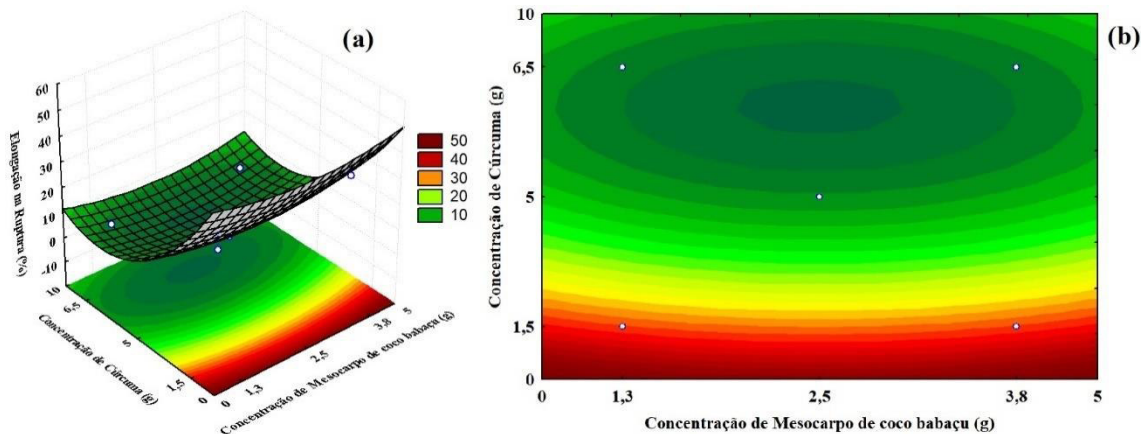
$$\textit{Elongação de ruptura}[\%] = 6,32 + 2,47C_{\text{MCB}}^2 - 13,69C_{\text{C}} + 9,81C_{\text{C}}^2 \quad (10)$$

Onde:  $C_{\text{MCB}}$  representa a variável concentração de mesocarpo de coco babaçu e  $C_{\text{C}}$  representa a variável concentração de cúrcuma.

Nas Figuras 23 e 24, encontram-se as superfícies de respostas e curvas de contorno para as respostas Tensão na ruptura e Elongação na ruptura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. Os valores mais altos de Tensão na ruptura estão nas menores concentrações de cúrcuma e nas maiores e menores concentrações de MCB. Entretanto, as maiores Elongações na ruptura dos biopolímeros estudados, estão nas menores faixas de cúrcuma e em toda a extensão de MCB estudadas no planejamento experimental.



**Figura 23** - Superfícies de resposta (a) e curva de contorno (b) para a Tensão na ruptura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. Fonte: Próprio autor (2022).



**Figura 24** - Superfícies de resposta (a) e curva de contorno (b) para a Elongação na ruptura dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. Fonte: Próprio autor (2022).

### 5.5. Carotenoides totais

Os resultados das análises de conteúdo de carotenoides totais obtidos para os biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma são apresentados na Tabela 20.

Como podemos observar na Tabela 20, o conteúdo de carotenoides totais analisados nos 11 ensaios estudado no planejamento experimental, apresentou valores bem distintos. A maior fixação dos carotenoides se deu nos ensaios 4 e 8, onde foi empregado 6,5 e 10 gramas do extrato de cúrcuma, respectivamente e 3,5 e 2,5 gramas de mesocarpo de coco babaçu, respectivamente. O 7º ensaio apresentou menor fixação dos carotenoides, isto se deu ao fato de que a quantidade de extrato de cúrcuma empregada foi a nula.

O conteúdo de carotenoides totais encontra-se na faixa (2,11 a 57,69 mg/100g) apresentando valor médio igual a 35,92 mg/100g de amostra, resultados semelhantes foram encontrados por Alves et al. (2017) que fizeram uma análise de carotenoides totais em casca, polpa e semente de murici, encontrando valores médios de 37,426 mg/100g no caroço, 12,60 mg/100g na polpa e 129,62 mg/100g na casca.

**Tabela 20** - Conteúdo de carotenoides totais dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Ensaio | Carotenoides totais (mg/100g)* |
|--------|--------------------------------|
| 1      | 6,14±0,55                      |
| 2      | 54,21±0,36                     |
| 3      | 6,10±0,54                      |
| 4      | 56,43±0,00                     |
| 5      | 4,26±0,07                      |
| 6      | 46,98±0,12                     |
| 7      | 2,11±0,01                      |
| 8      | 57,69±0,00                     |
| 9      | 53,24±0,62                     |
| 10     | 53,27±0,00                     |
| 11     | 54,71±0,14                     |

\* Média ± desvio padrão das repetições. Fonte: Próprio autor (2022).

Na Tabela 21 são apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações, respectivamente, para a resposta conteúdo de carotenoides totais dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

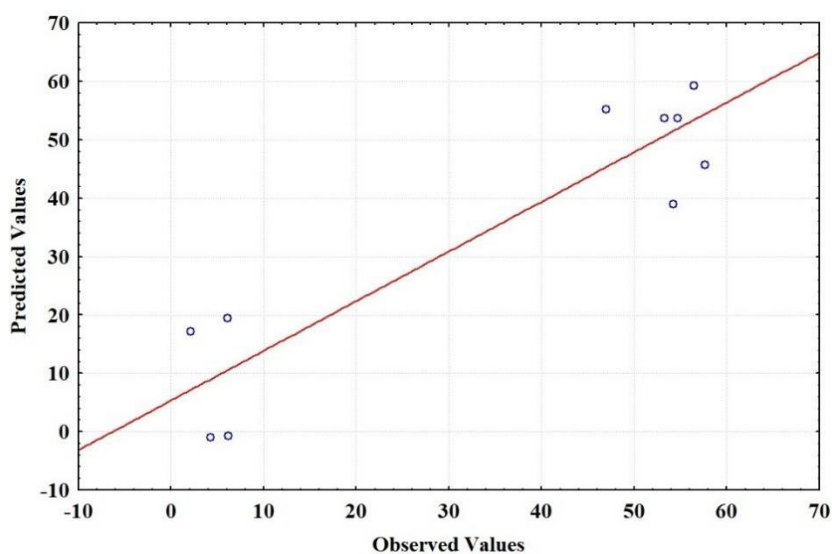
Como pode-se visualizar na Tabela 21, os carotenoides totais dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma apresentaram efeitos negativo quadrático para o parâmetro concentração de MCB e cúrcuma e efeitos positivos linear para estas mesmas variáveis independentes ao nível de 10% de significância ( $p \leq 0,10$ ). Isto explica que a concentração de MCB e cúrcuma apresentaram concavidades negativas nas quais os carotenoides diminuem ou aumentam com a presença de menores ou maiores concentrações destas variáveis. Pode-se visualizar o mesmo fato na Figura 25. Entretanto, apresentando efeitos lineares positivos, indicando que quanto maiores as concentrações destas variáveis maiores os valores de carotenoides totais.

**Tabela 21** - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta conteúdo de carotenoides totais (mg/100g) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fatores              | Efeito estimado | Erro padrão | t (5)   | p – valor |
|----------------------|-----------------|-------------|---------|-----------|
| Média                | 53,74           | 0,4851      | 110,786 | 0,000*    |
| Conc. de MCB (L)     | 39,70           | 0,5941      | 66,831  | 0,000*    |
| Conc. de MCB (Q)     | -26,64          | 0,7071      | -37,674 | 0,001*    |
| Conc. de Cúrcuma (L) | 20,20           | 0,5941      | 33,994  | 0,001*    |
| Conc. de Cúrcuma (Q) | -22,36          | 0,7071      | -31,621 | 0,001*    |
| MCB x Cúrcuma        | 1,13            | 0,8402      | 1,345   | 0,311     |

\* Significativo a  $p \leq 0,10$ ; MCB = mesocarpo de coco babaçu. Fonte: Próprio autor (2022).

Analisando os valores experimentais de carotenoides totais (Figura 25) ficaram menos dispersos dos valores observados pelos modelos, mostrando que os pontos experimentais ficaram concentrados nos maiores valores de carotenoides totais.



**Figura 25** - Valores preditos versus valores observados para a resposta conteúdo de carotenoides totais dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. Fonte: Próprio autor (2022).

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 90 % de confiança ( $p \leq 0,10$ ), através do teste F, na Análise de Variância para a resposta conteúdo de carotenoides totais (Tabela 22).

**Tabela 22** - ANOVA do modelo ajustado para a resposta conteúdo de carotenoides totais (mg/100g) dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

| Fonte de variação | SQ      | GL | QM      | F <sub>Calculado</sub>  | F <sub>Tabelado</sub> |
|-------------------|---------|----|---------|-------------------------|-----------------------|
| Regressão         | 5296,45 | 4  | 1324,11 | 8,54                    | 3,18                  |
| Resíduos          | 930,61  | 6  | 155,10  |                         |                       |
| - Falta de ajuste | 929,20  | 4  | 232,30  | 329,08                  | 9,24                  |
| - Erro puro       | 1,41    | 2  | 0,71    |                         |                       |
| Total             | 6227,06 | 10 | 622,71  | R <sup>2</sup> = 85,06% |                       |

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio. Fonte: Próprio autor (2022).

O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) para o modelo ajustado para a resposta carotenoides totais foi de aproximadamente 0,85, indicando que o modelo explicou 85,06 % da variação dos dados observados.

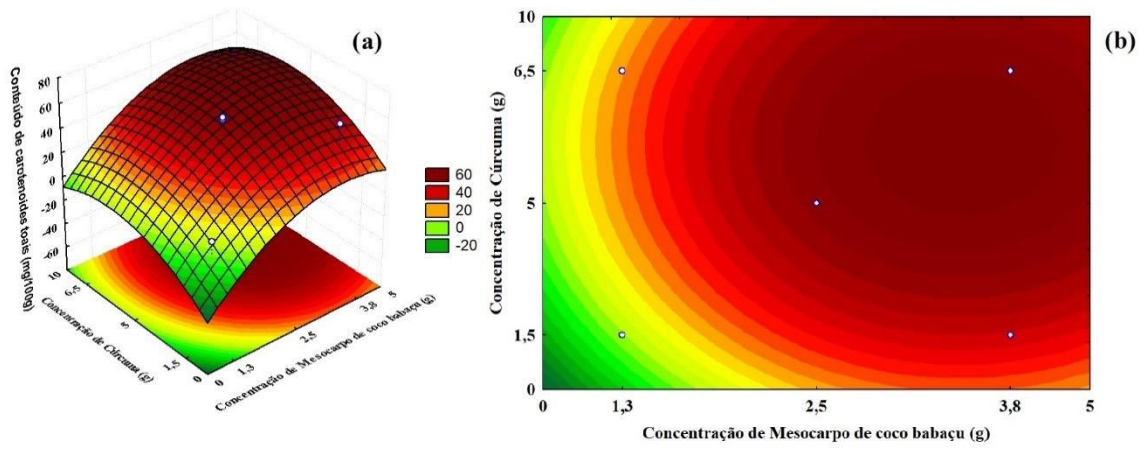
O modelo apresentou regressão significativa ao nível de 90 % de confiança (F<sub>calculado</sub> > F<sub>tabelado</sub>) e foi considerado preditivo, mas com falta de ajuste em relação ao erro puro (F<sub>calculado</sub> superior ao F<sub>tabelado</sub>). Isso ocorreu devido ao fato de a média quadrática (Q<sub>M</sub>) do erro puro apresentar um valor muito inferior à Q<sub>M</sub> da falta de ajuste (devido à boa repetibilidade dos ensaios nos pontos centrais). Isso faz com que a razão entre eles resulte num valor muito alto.

O modelo codificado proposto para representar o conteúdo de carotenoides totais dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma, é descrito pela Equação 11.

$$\text{Carotenoides totais [mg/100g]} = 53,74 + 19,85C_{MCB} - 13,32C_{MCB}^2 + 10,10C_C - 11,18C_C^2 \quad (11)$$

Onde: C<sub>MCB</sub> representa a variável concentração de mesocarpo de coco babaçu e C<sub>C</sub> representa a variável concentração de cúrcuma.

A Figura 26 apresenta a superfície de resposta e curva de contorno para a resposta conteúdo de carotenoides totais dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma. Os valores mais altos de carotenoides foram obtidos por volta dos pontos de -1, +1 e +1,41 das concentrações de MCB e cúrcuma.



**Figura 26** - Superfícies de resposta (a) e curva de contorno (b) para o conteúdo de carotenoides totais dos biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu aditivados com cúrcuma.

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que a adição de cúrcuma em biopolímeros de alginato e mesocarpo de coco babaçu é apropriada, tendo em vista que os filmes confeccionados obtiveram uma coloração agradável predominante da cúrcuma, assim como do mesocarpo de coco babaçu. Ao passo que também apresentaram boa consistência, exceto o ensaio 8, que por apresentar grande quantidade de extrato de cúrcuma, não foi possível uma reticulação e plastificação eficiente. Além disso, os filmes também apresentaram um cheiro bastante agradável, o que não era tão forte quanto ao da cúrcuma.

O conteúdo de solubilidade em água dos biopolímeros confeccionados comprovam a qualidade destes para a produção de embalagens biodegradáveis.

Os carotenoides tiveram maior fixação nos filmes que continham quantidade significativas de mesocarpo de coco babaçu e cúrcuma. Por outro lado, os filmes ainda apresentaram bons teores de carotenoides proveniente do extrato adicionado.

As concentrações de MCB e cúrcuma utilizadas influenciaram simultaneamente a solubilidade, a umidade, a permeabilidade ao vapor de água, propriedades mecânicas e o conteúdo de carotenoides. A resposta a elongação na ruptura foi a única propriedade que sofreu efeito de uma única variável: a concentração de cúrcuma empregada.

O método estatístico utilizado obteve modelos preditivos e eficientes para a maioria dos testes segundo os parâmetros utilizados, permitindo prever resultados experimentais futuros.

### 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se outras análises de caracterização, como:

- ✓ Análises de termogravimetria;
- ✓ Cinética de secagem;
- ✓ Isotermas de sorção;
- ✓ Grau de intumescimento;
- ✓ Biodegradabilidade;
- ✓ Infravermelho;
- ✓ Outras análises de antioxidantes como DPPH, FRAP, entre outros.



## REFERÊNCIAS

- AHSAN, H.; PARVEEN, N.; KHAN, N. U.; HADI, S. M. Pro-oxidant, anti-oxidant and cleavage activities on DNA of curcumin and its derivatives demethoxycurcumin and bisdemethoxycurcumin. **Chemico-Biological Interactions**, v. 121, n. 2, p. 161–175, 1999.
- LOPES, I. A.; PAIXÃO, L. C.; SILVA, L. J. S.; BARROS FILHO, A. K. D.; SANTANA, A. A. Produção de compósitos poliméricos de matrizes naturais: alginato de sódio e mesocarpo de coco babaçu. In: **58º Congresso Brasileiro de Química**, 2018, São Luís - MA. 58º CBQ, 2018.
- ALVES, V. M.; DIAS, L. G. ; ABREU, D. J. M. ; MORAES, I. A. ; LESS, T. R. C. ; PENSADO, S da, F, N ; AMORIM, A, K ; SILVA, E. P. ; DAMIANI, C. Análise de carotenoides totais em casca, polpa e semente de murici (*Byrsonima crassifolia (L.) Rich*). In: Simpósio Latino Americano de Ciência dos Alimentos, 2017, **Campinas. Anais do Simpósio Latino Americano de Ciência dos Alimentos**, 2017.
- AMALRAJ, A.; PIO, A.; GOPI, S.; GOPI, S. Biological activities of curcuminoids, other biomolecules from turmeric and their derivatives – A review. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, v. 7, n. 2, p. 205–233, 2017.
- ARRUDA, L. C. G.; LIMA, M. DA P. L.; RIBEIRO, M. N. DE S. Estudo Fitoquímico em farinha do mesocarpo do babaçu (*Orbignya Phalerata Mart*, Arecaceae). **I Congresso de Iniciação Científica PIBIC/CNPq - PAIC/FAPEAM**, p. 3–6, 2012.
- ARVANITOYANNIS, I.; BILIADERIA, C. G.; OGAWA, H.; KAWASAKI, N. Biodegradable films made from low-density polyethylene (LDPE), rice starch and potato starch for food packaging applications: part. 1. **Carbohydrate Polymers, Barking**, v. 36, n. 1, p. 89- 104, 1998.
- ASTM E 96-95. Standard test method for water vapor transmission of materials. **Annual Books Of ASTM Standards**, p. 785-792, 1995.
- ASTM – American Society for Testing Materials. **ASTM D-883 – Standard terminology relating to plastics**. In: Annual Book of ASTM Standards, 1983.
- ASTORG, P. Food carotenoids and cancer prevention: an overview of current research. **Trends in Food Science & Technology**, v. 8, n. 12, p. 406-413, 1997.
- AVEDAÑO-ROMERO, G. C.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E. Propriedades del alginato y aplicaciones en alimentos. **Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos**, v. 1, p. 87-96, 2013.
- AZEVEDO, V. M.; BORGES, S. V.; MARCONCINI, J. M.; YOSHIDA, M. I.; NETO, A. R. S.; PEREIRA, T. C.; PEREIRA, C. F. G. Effect of replacement of corn starch by whey protein isolate in biodegradable film blends obtained by extrusion. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 971– 980, 2017.
- BALLESTEROS-MARTINEZ, L; PEREZ-CERVERA, C; ANDRADE-PIZARRO, R. Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. **NFS Journal**, 20, 1-9, 2020.

BARUQUE FILHO, E. A., BARUQUE M. D. G. A., SANT'ANNA JR. G. L.; Babassu coconut starch liquefaction: an industrial scale approach to improve conversion yield. **Bioresourc Technology**, v. 75, n.1, p. 49-55, 2000.

BASIAK, E., LENUART, A., DEBEAUFORT, F. (2018). How glycerol and water contents affect the structural and functional properties of starch-based edible films. **Polymers**, 10 (4).

BERTAN, L. C. Desenvolvimento e caracterização de filmes simples e compostos a base de gelatina, ácidos graxos e breu branco. 2003. 157p. **Dissertação (mestrado)** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP.

BENZIE, I. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (Frap) as a measure of antioxidant power: the frap assay. **Anal Biochem**. 1996 Jul 15; 239 (1): 70-6.

BELITZ, H. D.; GROSH, W. **Química de los Alimentos**. 2<sup>TM</sup> ed. Zaragoza: Acribia, 1997.

BHAWANA, B. R. K.; BUTTAR, H. S.; JAIN, V. K.; JAIN, N. Curcumin nanoparticles: preparation, characterization, and antimicrobial study. **J Agric Food Chem**. 2011 Mar 9;59(5):2056-61.

BIERHALZ, A. C. K. Confecção e caracterização de biofilmes ativos à base de pectina BTM e de pectina BTM/alginato reticulados com cálcio. 2010. 137 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)** – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

BIERHALZ, A. C. K., DA SILVA, M. A., KIECKBUSCH, T. G. Natamycin release from alginate/pectin films for food packaging applications. **Journal of Food Engineering**, 110(1), 18-25, 2012.

BIERHALZ, A. C. K.; DA SILVA, M. A.; BRAGA, M. E. M.; SOUSA, H. J. C.; KIECKBUSCH, T. G. Effect of calcium and/or barium crosslinking on the physical and antimicrobial properties of natamycin-loaded alginate films. **Food Science and Technology**, v, 57, p. 494-501, 2014.

BRANDELERO, R. P. H.; de ALMEIDA, F. M.; ALFARO, A. Microestrutura e propriedades de filmes de amido-álcool polivinílico-alginato adicionados de óleos essenciais de copaíba e capim limão. **Química Nova**, Vol. 38, pp. 910, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Impacto das embalagens no meio ambiente**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/impacto-das-embalagens-no-meio-ambiente>. Acesso em: 19 Nov. 2021.

CALCAGNO, D. Q.; WISNIESKI, F.; MOTA, E. R. D. S.; MAIA, de S. S. B.; COSTA, da S. J. M.; LEAL, M. F.; GIGEK, C. O.; SANTOS, L. C.; RASMUSSEN, L. T.; ASSUMPCÃO, P. P.; BURBANO, R. R.; SMITH, M. A. Role of histone acetylation in gastric cancer: implications of dietetic compounds and clinical perspectives. **Epigenomics**. 2019 Feb;11(3):349-362.

CARNEIRO, M. L. F. **Farelo e mesocarpo do côco babaçu na alimentação de aves**. 2011, 85 f. tese. (Doutorado em zootecnia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2011.

CARULO, M. F. Desenvolvimento e caracterização de biofilmes ativos contendo Sorbato de potássio, feitos de alginato de cálcio e ácidos graxos. 2005. 120f.. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)** - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2005.

CHATTOPADHYAY, I.; BISWAS, K.; BANDYOPADHYAY, U.; BANERJEE, R.: Turmeric and Curcumin: Biological actions and medicinal applications. *Curr Sci*, vol. 87, 2003.

CHEN, H. Functional properties and applications of edible films made of milk proteins. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.78, n.11, p.2563-2583, 1995.

CHING, S. H.; BANSAL, N.; BHANDARI, B. Alginate Gel Particles — A review of production techniques and physical properties. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017, 57, 1133-1152.

CHIVRAC, F.; POLLET, E.; DOLE, P.; AVEROUS, L. Starch-based nanobiocomposites: Plasticizer impact on the montmorillonite exfoliation process, **Carbohydrate polymers**, vol. 79, pp. 941-947, 2010.

CROCKER, R. **Somebody else's problem: consumerism, sustainability & design**. New York: **Taylor & Francis Group**, 2017.

EUGSTER, 2014. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Curcuma\\_longa\\_roots.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Curcuma_longa_roots.jpg)> Acesso 06/12/2021.

FERREIRA, E. F.; CASTRO, L. S.; OLIVEIRA, M. M. M; SILVA, T. L. A.; MORO, D. Utilização de subprodutos do babaçu na nutrição animal. **PUBVET**, Londrina, v. 5, N. 22, p. 1-9, 2011.

FONTES, S.M.S. **Curcuma longa L.**: caracterização química e estudo da capacidade antioxidante. 2018. 64 fls. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

GAO, C.; POLLET, E.; AVÉROUS, L. Properties of Glycerol-plasticized Alginate Films Obtained by Thermo mechanical Mixing. **Food Hydrocolloids** 63 (2017): 414-20.

GAZIANO, J. M.; HENNEKENS, C. H. The Role of Beta-Carotene in the Prevention of Cardiovascular Disease. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 691, n. 1, p. 148-155, 1993.

GEYER, R. Production, use, and fate of synthetic polymers. In: **Plastic Waste and Recycling**. **Academic Press**, 13-32, 2020.

GOMES, F. S. Carotenoides: uma possível proteção contra o desenvolvimento de câncer. **Rev. nutr**, v. 20, n. 5, p. 537-548, 2007.

GOMES, P. R. et al. Síntese e avaliação da atividade antimalárica de compostos derivados da curcumina. **Quim. Nova**, v. 37, n. 3, p. 492-496, 2014.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. (1993). Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier property of an edible wheat gluten film. **Journal of Food Science**, v. 58, n. 1, p. 206-211.

GONTARD, N.; DUCHEZ, C.; CUQ, J-L.; GUILBERT, S. Edible composite films of wheat and lipids: water vapour permeability and other physical properties. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 29, p. 39-50, 1994.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology. **Journal of Food Science**, v. 57. n. 1, p. 190-195, 1 jan. 1992.

GRANDT, G. T.; MORRIS, E. R.; REES, D. A.; SMITH, P. J. C.; THOM, D. Biological Interactions Between Polysaccharides and Divalent Cation: The Egg-box Model. **Feds Letters** . v. 32, n. 01, p. 195-198, 1973.

GREDILHA, P. R.; LIFSITCH, V. A.; SUAREZ-FONTES, A. M.; Marcos Andre VANNIER, S. M. A.; LIMA, D. M. "Development of Analytical Methodology by High-Performance Liquid Chromatography to Curcuminoids Quantification." **Revista Virtual De Química** 13.5 (2021): 1181-188. Web.

GÜLÇİN, I. Antioxidant activity of food constituents: an overview. **Archives of toxicology**. 2012 Mar; 86 (3): 345-91.

GUZZETTI, E.; SUREDA, A.; TEJADA, S.; FAGGIO, C. Microplastic in marine organism: environmental and toxicology effects. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 64, p. 164-171, Dez, 2018.

HAGHIGHI, H.; LICCIARDELLO, F.; FAVA, P.; SIESLER, H. W.; PULVIRENTI, A. Recent advances on chitosan-based films for sustainable food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**. v. 26, p. 100551, 1 dez 2020.

HEWLINGS, S. J.; KALMAN, D. S. Curcumin: A review of its' effects on human health. **Foods**. v. 6(10), p. 92, 2017.

HOSNEY, H.; NADIEM, B.; ASHOUR, I.; MUSTAFA, I.; EL-SHIBINY, A. Epoxidized vegetable oil and bio-based materials as PVC plasticizer. **Journal of Applied Polymer Science**, 2018 .135 (20), 46270.

HURRELL, R. F. Influence of vegetable protein source on trace elements and mineral bio vailability. **Journal of Nutrition**, Oxford, v. 133, n. 9, p. 29735-29775, 2003.

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

JANJARASSKUL, T.; TANANUWONG, K.; PHUPOKSAKUL, T.; THAI PHANIT, S. Fast dissolving, hermetically sealable, edible whey protein isolate-based films for instant food and/or dry ingredient pouches. **LWT**, v. 134, p. 110102, 2020.

JAYAPRAKASHA, G. K.; JAGAN, M. R. L.; SAKARIAH, K. K. (2005). Chemistry and biological activities of *C. longa*. **Trends in Food Science & Technology**, 16(12), 533–548.

JIANG, Z.; WANG, C.; LI, T.; SUN, D.; GAO, H.; GAO, Z.; MU, Z. Effect of ultrasound on the structure and functional properties of transglutaminase-crosslinked whey protein isolate exposed to prior heat treatment. **International Dairy Journal**, 88, 79-88, 2019.

JOST, V.; KOBOSIK, K.; SCHMID, M.; NOLLER, K. Influence of plasticiser on the barrier, mechanical and grease resistance properties of alginate cast films. **Carbohydrate Polymers**, 2014. 110, 309–19. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.03.096.

JUNIOR, M. D. M.; SARMENTO, S. B. S.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L; ZOCCHIO, S. S. Propriedades de Barreira e Solubilidade de Filmes de Amido de Ervilha Associado com Goma Xantana e Glicerol. **Seção Técnica Polímeros**, Vol. 21, pp. 67, 2011.

KAWAGUTI, H. Y.; SATO, H. H. Produção de isomaltulose, um substituto da sacarose, utilizando glicosil transferase microbiana. **Quim. Nova**. 2008; 31(1):134-143.

KIM, M.; POMETTO, L. Food packaging potential of some degradable starch – polyethylene plastics. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 57, n. 11, p. 1007- 1012, 1994.

KIM, K. W.; KO, K. J.; PARK, H. J. Mechanical properties, water vapor permeabilities and solubilities of highly carboxymethylated starch-based edible films, **Journal Food Science**, vol. 67, pp. 218-22, 2002.

KLOSTER, G. A.; MURACA, D.; MOSIEWICKI, M. A.; MARCOVICH, N. E. Magnetic composite films based on alginate and nano-iron oxide particles obtained by synthesis “in situ”, **European Polymer Journal**, vol. 94, pp. 43-55, 2017.

KRINSKY, N. I. Actions of carotenoids in biological systems. **Annual review of nutrition**, v. 13, n. 1, p. 561-587, 1993.

LANDIM, A. P. M.; BERNARDO, C. O.; MARTINS, I. B. A.; FRANCISCO, M. R.; SANTOS, M. B.; MELO, N. R. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v. 26, p. 82–92, 2016.

LEE, K.Y.; MOONEY, D. J. Alginate: properties and biomedical applications. **Prog. Polym. Sci.** 2012, 37, 106-126.

LOMELÍ-RAMÍREZ, M. G.; KESTUR, R. G. S.; MANRÍQUEZ-GONZÁLES, R.; IWAKIRI, S.; MUNIZ, B. G.; FLORES-SAHAGUN, S. T. Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: part II: structure and properties. **Carbohydrate Polymers**, Reino Unido, v. 102, p. 576-583, fev. 2014.

LOPES, K. S. R.; SANTOS, G. P.; de LIMA, J. E. A.; HOLZ, J. P. **Estudo sobre a poluição plástica e análise de micropartículas na água tratada de Porto Alegre/RS**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, 9, 570-587, 2020.

LU, L.; LUO, T.; ZHAO, Y. CAI, C.; FU, Z.; JIN, Y. Interaction between microplastics and microorganism as well as gut microbiota: A consideration on environmental animal and human health. **Sci Total Environ**. 2019 Jun 1; 667: 94-100.

LUCHESE, C. L. Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de amido contendo subprodutos provenientes do processamento de alimentos. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

MAHRAN, R. I.; HAGRAS, M. M.; SUN, D.; BRENNER, D. E. (2017). Bringing Curcumin to the Clinic in Cancer Prevention: a Review of Strategies to Enhance Bioavailability and Efficacy. **The AAPS Journal**, 19(1), 54–81.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V.; YAMSHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: ciências agrárias**, v. 31, n.1, p. 137-156, 2010.

MANIGLA, B. C.; TESSARO, L.; LUCAS, A. A.; TAPIA-BLÁCIDO, D. Bioactive films based on babaçu mesocarp flour and starch. **Food hydrocolloids**, v. 70, p. 383-391, 2017.

MANIGLA, B. C.; TAPIA-BLÁCIDO, D. Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp. **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 47-55, 2016.

MARCHI, J. P. et al. Curcuma longa L., o açafrão da terra, e seus benefícios medicinais. **Arq. Ciência Saúde UNIPAR**, v. 20, n. 3, p. 189-194, 2016.

MARTELLI-TOSI, M.; ESPOSTO, B. S.; SILVA, N. C.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R.; JAFARI, S. M. Reinforced nanocomposites for food packaging. In: JAFARI, S. M. (Ed.). **Handbook of Food Nanotechnology**. 1. ed. [s.l: s.n.]. p. 533-574.

MEM. INST. OSWALDO CRUZ. **Biological Activities of Curcuma longa L.** V. 96(5), p. 723-728, 2001

MIOTTO, F.R.C.; RESTLE, J.; NEIVA, J.N.; CASTRO, N.; SOUSA, L.F.; DA SILVA, R., DE FREITAS, B., LEÃO, J. **Replacement of corn by babassu mesocarp bran in diets for feedlot young Bulls**. *Rev. Bras. Zootecn.*, v.42, n.3, p. 213-219, 2013.

MIR, S. A.; DAR, B. N.; WANI, A. A.; SHAH, M. A. Effect of plant extracts on the techno-functional properties of biodegradable packaging films. **Trends in Food Science and Technology**, v. 80, p. 141-154, 1 out 2018.

MOHARRAM, H.; YOUSSEF, M. M. Methods for determining the antioxidant activity: a review. **Alexandria Journal of Food Science and Technology**, Alexandria, v. 11, n. 1, p. 31-42, 2014

MONTERREY-QUITERO, E. S. Caracterização físico-química de proteínas miofibrilares e elaboração de biofilmes. 1998. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)** - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 1998.

N'TSOUKPOE, K. E.; RAMMELBERG, H. U.; LELE, A. F.; KORHAMMER, K.; WATTS, B. A.; SCHMIDT, T.; RUCK, W. K. L. A review on the use of calcium chloride in applied thermal engineering. **Applied Thermal Engineering**, v. 75, p. 513-531, 2015.

OLIVEIRA, D. da S.; GONDIM, A. D.; CALDEIRA, V. P. da S.; PERGHER, S. B. C. (2021). Valorização do glicerol através da desidratação em acetol e acroleína empregando zeólitas hierarquizadas por tratamento alcalino: uma revisão: desidratação do glicerol em acetol e acroleína por zeólitas hierarquizadas. *Revista Perspectiva*, 45(171), 111-124.

OLIVEIRA, L. M. Ensaios para avaliação de embalagens plásticas flexíveis. Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem, CETEA, p. 219, 1996.

OLIVEIRA, G. L. S. Determinação Da Capacidade Antioxidante De Produtos Naturais in Vitro Pelo Método Do DPPH•: Estudo De Revisão. *Revista Brasileira De Plantas Medicinai*s 17.1 (2015): 36-44. Web.

LIVIER, J; PALOU, A. Chromatographic determination of carotenoids in foods. **Journal of Chromatography A**, v. 881, p. 543 – 555, 2000.

OLSON, J. A. Carotenoids and human health. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 49, n. 3 Suppl 1, p. 7S-11S, 1999.

PACHECO, N.; NAAL-EK, M. G.; AYORA-TALAVERA, T.; SHIRAI, K.; ROMÁN-GUERRERO, A.; FABELA-MORÓN, M. F.; CUEVAS-BERNARDINO, J. C. Effect of biochemical chitosan and gallic acid into rheology and physicochemical properties of ternary edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 125, p. 149-158, 2019.

PARREIDT, T. S.; MÜLLER, K.; SCHIMID, M. Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications. *Foods*, v. 7, n. 10, p 170-208, 2018.

PAVLATH, A. E.; ORTS, W. Edible Films and Coatings: Why, What, and How? In: **Edible Films and Coatings for Food Applications**. [s.l.] Springer New York, 2009. p. 1-23.

PÉREZ-GAG; KROCHTA, J. M. Denaturation time and temperature affects on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films. **Journal of Food Science**, v. 66, n. 5, p. 705-710, 2001.

PESSANHA, A. B.; ROCHA, M. C. G.; DA SILVA, A. H. M. F. T. Introdução de ligações cruzadas no LLDPE através de processo de extrusão reativa de grafitação do vinil-trimetóxisilano (ctms) na cadeia polimérica: Efeito das condições de processamento e do sistema reacional. **Polimeros**, v. 21, n. 1, p. 53-58, 2011.

Plastic Oceans. **The facts**. Disponível em: <https://plasticoceans.org/the-facts/>. Acesso em: 20 Nov. 2021.

PRATA, J. C. Airborne microplastics: on sequences to human health? **Environmental Pollution**, v. 234, p. 115–126, mar. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117307686>. Acesso em: 19 Nov. 2021.

PRIYADARSINI, I. K. The chemistry of curcumin: From extraction to the rapeutic agent. **Molecules**, v. 19, n. 12, p. 20091–20112, 2014.

PRIYADARSINI, I. K. (2014). The Chemistry of Curcumin: From Extraction to Therapeutic Agent. **In *Molecules*** (Vol. 19, Issue 12).

RAJAKUMAR, D. V.; RAO, M. N. A. Antioxidant properties of dehydrozingerone and curcumin in rat brain homogenates. ***Molecular and Cellular Biochemistry***, v. 140, n. 1, p. 73–79, 1994.

RINDLAV-WESTLING, A.; STADING, M.; HERMANSSON, A.; GATENHOLM, P. Structure, mechanical and barrier properties of amylose and amylopectin  $\mu$ lms. ***Carbohydrate Polymers, Barking***, v. 36, n. 2/3, p. 217-224, 1998.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. G. Metodologia científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do Ferro (FRAP). **Comunicado técnico online EMBRAPA Agroindústria Tropical**, n. 125, 2006.

RUFINO, M. S. M.; FERNANDES, N. A. F.; ALVES, E. R.; BRITO, S. E. Free radical-scavenging behaviour of some north-east Brazilian fruits in a DPPH system., ***Food Chemistry*** v. 114, n. 2, p. 693-695, 2009.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. Planejamento de experimentos e otimização de processos. 3º ed. Campinas – SP: **Casa do espírito amigo fraternidade fé e amor**. 2014.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A guide to carotenoid analysis in food. Washington, DC: **International Life Sciences Institute Press**, 1999.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Avanços na pesquisa de carotenóides em alimentos: contribuições de um laboratório brasileiro. ***Revista do Instituto Adolfo Lutz***, v. 63, n. 2, p. 129-138, 2004.

ROUET, I.; OHSHIMA, H. Curcumin, an Anti-tumor Promoter and Anti inflammatory Agent, Inhibits Induction of Nitric Oxide Synthase in Activated Macrophages. ***Biochemical and Biophysical Research Communications***. [S.l.: s.n.].1995.

RUSIG, O.; MARTINS, M. C. Efeito da temperatura, do pH e da luz sobre extratos de oleoresina de cúrcuma (*Curcuma longa* L.) e curcumina. ***Revista Brasileira de Corantes Naturais***, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 158-64.1992.

SAIZ de COS, P. Cúrcuma I (*Curcuma longa* L.), Reduca (*Biología*). **Ser. Botánica**, vol. 7, no. 2, pp. 84–99, 2014.

SANTANA, A. A. (2010). **Influência de características físicas e químicas de plastificantes na confecção e no comportamento estrutural e higroscópico de filmes de alginato de cálcio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 176, p.

SANTANA, A. A.; KIECKBUSCH, T. G., Physical evaluation of biodegradable films of calcium alginate plasticized with polyols. ***Brazilian Journal of Chemical Engineering***, v. 30, n. 4, p. 835-845, 2013.



SANTOS, V. S. **Avaliações e caracterizações de biofilme comestível de carboximetilcelulose contendo *Curcuma longa* e nanopartículas de quitosana**. 2018. 79 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2018.

SARICAOĞLU, F. T.; TURHAN, S. Physical, Chemical, Thermal and Microstructural Characterization of Edible Films from Mechanically Deboned Chicken Meat Proteins. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, n. 5, p. 1071-1085, 2019.

SCHOLZE, A. F. A. Biodisponibilidade da curcumina. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica Funcional**, v. 14, n. 60, p. 20–24, 2014.

SENTURK PARREIDT, T. MÜLLER, K. SCHMID, M. **Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications**. *Foods*. 2018;7(10):170.

SHAHRAMPOUR D.; KHOMEIRI, M.; RAZAVI, S.M.A.; KASHIRI, M. **Development and characterization of alginate/pectin edible films containing *Lactobacillus plantarum* KMC 45**. *LWT*, 118, 108758, 2020.

SHEHZAD, A.; REHMAN, G.; LEE, Y. S. Curcumin in inflammatory diseases. **Bio factors**. V. 39, p. 69-77, 2013.

SILVA, N. C.; BARROS, E. K. C., PEREIRA, A. L. F., LEMOS, T. O.; ABREU, V. K. G. **Effect of Babassu (*Orbignya phalerata*) Mesocarp Flour on the Sensorial Properties and Nutritional Value of Cookies**. *Journal of Food and Nutrition Research*, v. 7, n. 11, p. 805-809, 2019.

SILVEIRA, M. P.; SILVA, H. C.; PIMENTEL, I. C.; POITEVIN, C. G.; STUART, A. K. C.; CARPINÉ, D.; JORGE, L. M. M.; JORGE R. M. M. Development of active cassava starch cellulose nanofiber-based films incorporated with natural antimicrobial teatree essential oil. **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 137, pp. n/a, 2019.

SOBRAL, P. J. A.; CARVALHO, R. A.; THOMAZINE, M. (2005) Physical properties of gelatin films plasticized by blends of glycerol and sorbitol. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 1, p. 172-176.

SOBRAL, P. J. A.; SANTOS, J. S.; GARCIA, F. T. (2005) Effect of protein and plasticizer concentrations in films forming solutions on physical properties of edible and films based on muscle proteins of a Thai Tilapia. **Journal of Food Engineering**, v. 70, n. 1, p. 93-1000.

SOBRAL, P. J.A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesq. Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1251-1259, 2000.

SOUSA, A. I. P. **Efeitos do mesocarpo de babaçu (*Orbignya phalerata*, *Arecaceae*) sobre a bioquímica sanguínea em animais com tumor de Ehrlich**. Programa de mestrado em Saúde. 2008.

SOUZA, M. H.; MONTEIRO, C. A.; FIGUEREDO, P. M.; NASCIMENTO, F. R.; GUERRA, R. N. M. Ethopharmacological use of babaçu (*Orbignya phalerata* Mart) in communities of babaçu nut breakers in Maranhão. Brazil. **Journal of Ethopharmacology**, v. 133, p. 1-5, 2011.

SRIAMORNSAK, P., KENNEDY, R. A. Swelling and diffusion studies of calcium polysaccharide gels intended for film coating. **International Journal of Pharmaceutics**, 358, p.205-213, 2008.

SUETH-SANTIAGO, V.; SILVA, M. P. G.; DECOTÉ, R. D.; LIMA, F. E. M. Curcumina, o pódoourado do açafraão-da-terra: introspecções sobre química e atividades biológicas. **Quim. Nova.**, v. 38, n. 4, p. 538–552, 2015.

SUN, J.; TAN, H. Alginate-based biomaterials for regenerative medicine applications. **Materials**, v. 6, n. 4, p. 1285–1309, 2013.

TEDESCHI, G.; BENITEZ, J. J.; CESERACCIU, L.; DASTMALCHI, K.; ITIN, B.; STARK, E. R.; HEREDIA, A.; ATHANASSIOU, A.; GUERRERO, H. J. Sustainable Fabrication of Plant Cuticle-Like Packaging Films from Tomato Pomace Agro-Wast. Beeswax, and Alginate. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 6, p. 14955-14966, 2018.

TOSATI J. V. Determinação da taxa de respiração de tomate cereja e da permeabilidade à gás de filme comestível a base de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC). **Dissertação de Mestrado. 2013.**

TÖNNESEN, H. H.; KARLSEN, J. Studies on curcumin and curcuminoids IX: investigation of the photobiological activity of curcumin using bacterial indicator systems. **Journal of Pharmaceutical Science**, Washington, v. 76, p. 373-373, 1987.

TURBIANI, F. R. B. Mechanical and barrier properties of sodium alginate films btained using calcium benzoate and/or calcium chloride as the crosslinking agent, **Brazilian journal of food technology**, vol. 14, pp. 82-90, 2011.

URBANO, H. P. Produção de filmes compostos de poliestireno com a adição de curcumina e rizoma em pó de *Curcuma longa*. 2017. 28 f. **Trabalho de conclusão de curso** – Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Campo Mourão, 2017.

VILLAGOMEZ, V. M. **Elaboración de Crema Cosmética Anti-edad a Base de Cúrcuma Longa y sus Características Físico-Químico y análisis Sensorial**, 2014.

YANG, M.; WANG, L.; XIA, Y. Ammonium persulphate induced synthesis of polymethyl methacrylate grafted sodium alginate composite films with high strength for food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 124, p. 1238-1245, 2019.

ZACTITI, E. M.; KIECKBUSCH, T. G. Potassium sorbate permeability in biodegradable alginate films: Effect of the antimicrobial agent concentration and crosslinking degree, **Journal of Food Engineering**, vol. 77, pp. 462-467, 2006.

ZACTITI, E. M.; KIECKBUSCH, T. G. Potassium sorbate permeability in biodegradable alginate films: Effect of the antimicrobial agent concentration and crosslinking degree, **Journal of Food Engineering**, vol. 77, pp. 462-467, 2006.

ZAGHDOUDI, K.; PONTVIANNE, S.; FRAMBOISIER, X.; ACHARD, M.; KUDAIBERGENOVA, R.; AYADI-TRABELSI, M.; KALTHOUM-CHERIF, J.; VANDERESSE, R.; FROCHOT, C.; GUIAVARC'H, Y. Accelerated solvent extraction of carotenoids from: Tunisian Kaki (*Diospyros kaki* L.), peach (*Prunus persica* L.) and apricot (*Prunus armeniaca* L.). **Food Chemistry**, v. 184, p. 131-139, 2015.

ZEB, A. Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. **Journal of Food Biochemistry**, v. 44, n. 9, p. e13394, 1 set. 2020.

ZHANG, B.; YAYUAN, Y.; QIUJUAN, S.; DONG, M.; LANGHUAN, H.; XIANG, C.; SHAOZAO, T. A colon targeted drug delivery system based on alginate modified graphene oxide for colorectal liver metastasis. **Materials Science and Engineering: C**, v. 79, p. 185-190, 2017.