

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

**DEPARTAMENTO DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA,  
MATEMÁTICA E EDUCAÇÃO**

**LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**ISABELLA MARIA FERREIRA BARBOSA**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE  
FILMES DE QUITOSANA E O USO  
POTENCIAL EM RECOBRIMENTO DE  
SEMENTES**

**ARARAS**

**2024**

**ISABELLA MARIA FERREIRA BARBOSA**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE  
FILMES DE QUITOSANA E O USO  
POTENCIAL EM RECOBRIMENTO DE  
SEMENTES**

Monografia apresentada no Curso de  
Licenciatura e Química da Universidade  
Federal de São Carlos para aprovação na  
disciplina Monografia II.  
Orientação: Profa. Dra. Mariana Altenhofen da  
Silva

**ARARAS**

**2024**

**ISABELLA MARIA FERREIRA BARBOSA**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE  
FILMES DE QUITOSANA E O USO POTENCIAL  
EM RECOBRIMENTO DE SEMENTES**

Monografia apresentada no Curso de  
Licenciatura e Química da Universidade  
Federal de São Carlos para aprovação na  
disciplina Monografia II.

Orientação: Profa. Dra. Mariana Altenhofen  
da Silva

**Data da defesa: 09 de fevereiro de 2024**

**Resultado: Aprovada**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mariana Altenhofen da Silva

Universidade Federal de São Carlos

---

MSc. Marina Barros Zacharias

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Catarina Amorim Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

## RESUMO

A quitosana é um polissacarídeo obtido a partir do processo de desacetilação da quitina, que é encontrada nos exoesqueletos de crustáceos e insetos. As técnicas de recobrimento ou revestimento de sementes surgiram principalmente com o objetivo de auxiliar no seu desempenho no campo durante a germinação. A formação de uma fina camada sólida e uniforme, a base de polímeros sintéticos ou naturais, ao redor das sementes garante maior proteção contra danos mecânicos, fatores bióticos e abióticos, além de possibilitar a incorporação de nutrientes e outros agentes ativos. O uso de biopolímeros no revestimento de sementes vem se destacando como alternativa mais sustentável, reduzindo assim os impactos ambientais. A determinação das características físico-químicas da formulação biopolimérica utilizada como revestimento é fundamental para auxiliar no entendimento do comportamento das sementes revestidas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as características físico-químicas de filmes de quitosana com diferentes concentrações de biopolímero e glicerol (plastificante) visando seu uso como recobrimento de sementes de milho. Primeiramente foram determinadas a massa molar e o grau de desacetilação da quitosana utilizada na confecção dos filmes. Os filmes foram produzidos por *casting* e avaliados conforme o seu aspecto visual, espessura, umidade, permeabilidade ao vapor de água (PVA), absorção de água, cristalinidade e estrutura química. Os resultados obtidos, em consonância com outro trabalho do grupo de pesquisa que avaliou o desempenho de sementes de milho revestidas com as mesmas formulações de quitosana, indicam que os filmes desenvolvidos apresentam potencial para aplicação na agricultura, na técnica de recobrimento de sementes. Sendo assim, considera-se promissor o estudo continuado de coberturas de quitosana para recobrimento de sementes, como alternativa sustentável para aplicação no campo.

**Palavras-chave:** polímeros, glicerol, coberturas, biofilmes.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	8
2.1. Biopolímeros.....	8
2.2. Métodos de produção de filmes .....	8
2.2.1. Quitosana .....	10
2.3. Agente plastificante: glicerol .....	11
3. OBJETIVOS.....	12
3.1. Objetivo geral.....	12
3.2. Objetivos específicos .....	12
4. METODOLOGIA .....	13
4.1. Matérias-primas .....	13
4.2. Planejamento fatorial .....	14
4.3. Caracterização da quitosana.....	13
4.3.1. Massa molar.....	13
4.3.2. Grau de desacetilação .....	13
4.4. Processo de elaboração da solução de cobertura e dos filmes de quitosana.....	15
4.5. Caracterização dos filmes .....	16
4.5.1. Espessura .....	16
4.5.2. Permeabilidade ao vapor de água (PVA) .....	16
4.5.3. Absorção de água.....	16
4.5.4. Conteúdo de umidade .....	17
4.5.5. Cristalinidade.....	17
4.5.6. Estrutura química.....	17
4.5.7. Análises estatísticas .....	17
4.6. Proposta de aplicação dos conceitos abordados no trabalho experimental no âmbito do ensino de química .....	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
5.1. Caracterização da quitosana.....	19
5.2. Caracterização dos filmes .....	19
5.3. Proposta de aplicação dos conceitos abordados no trabalho experimental no âmbito do ensino de química .....	29
6. CONCLUSÃO .....	32
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	33

## 1. INTRODUÇÃO

O uso de polímeros sintéticos derivados de fontes não renováveis (como o petróleo) na agricultura é considerado um risco ao meio ambiente devido às suas propriedades de alto peso molecular, hidrofobicidade e alto tempo de decomposição (RUTIAGA *et al.*, 2005). Em contrapartida, os biopolímeros, como a quitosana, podem atuar como carreadores de óleos essenciais, extratos vegetais, biopesticidas e nanomateriais (KUMAR *et al.*, 2020), tornando-se atrativos para a aplicação no revestimento de sementes. Chandrika *et al.* (2019) obtiveram bons resultados na germinação de sementes de mamona revestidas com quitosana e *Trichoderma* spp.

A quitosana pode ser obtida comercialmente mediante o processo de desacetilação da quitina, encontrada em resíduos resultantes do processamento de crustáceos e nas paredes celulares de alguns fungos. Este polissacarídeo catiônico é insolúvel em água, mas solúvel em soluções diluídas de ácidos fracos. A massa molar e o grau de desacetilação, que indica a proporção de grupos amino nas cadeias do polímero, variam de acordo com a fonte e as condições do processo de desacetilação, resultando em quitosanas com distintas características funcionais. (PARK *et al.*, 2001; KUMAR *et al.*, 2020).

Devido à sua propriedade antimicrobiana intrínseca, a quitosana tem sido objeto de interesse nas últimas décadas para o gerenciamento de micro-organismos patogênicos e deterioradores, encontrando aplicações em diversos setores, incluindo farmacêutico, alimentício, de tintas, têxtil, agrícola e no tratamento de água (AKTER *et al.*, 2018; KUMAR *et al.*, 2019, 2020). A quitosana apresenta vantagens de ser um biopolímero abundante, não tóxico, biodegradável, bioativo e biocompatível (COMA *et al.*, 2002; HEMANTARANJAN *et al.*, 2014).

A quitosana tem uso versátil com potencial na produção de filmes e revestimentos (COMA *et al.*, 2002; KUMAR *et al.*, 2020), sendo possível a sua associação ou mistura com outros biopolímeros, como alginato, carragena e pectina (polissacarídeos), caseína e gelatina (proteína) ou lipídios, como forma de melhorar as propriedades funcionais dos materiais formados (KUMAR *et al.*, 2020). Segundo Zeng *et al.* (2010), a notável habilidade para formar filmes confere à quitosana a capacidade de estabelecer uma camada protetora na superfície das sementes, reduzindo, por exemplo, às perdas de nutrientes e fertilizantes, ao mesmo tempo em que aprimora a eficácia do uso dos mesmos no tratamento de sementes.

O revestimento de sementes com polímeros biodegradáveis surge como uma alternativa

capaz de promover o uso mais sustentável de recursos na agricultura. A diminuição e substituição de antimicrobianos químicos, de alto custo e prejudiciais ao ambiente, pelo emprego da quitosana, não apenas reduz os custos para os produtores, mas também oferece potencial para aumentar os rendimentos (HEMANTARANJAN *et al.*, 2014). O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da concentração de quitosana e agente plastificante (glicerol) nas propriedades físico-químicas e de barreira de formulações de recobrimentos para uso pretendido em sementes.

Além disso, complementarmente a pesquisa científica realizada, o trabalho foi vinculado à uma extensão universitária. No contexto educacional, destaca-se que a compreensão dos problemas associados aos impactos ambientais decorrentes do uso excessivo e do descarte inadequado de plásticos representa um tema de grande importância a ser abordado nas escolas como parte da educação ambiental. Neste sentido, o uso de biopolímeros em substituição parcial ou total dos polímeros derivados do petróleo, promove a diminuição no acúmulo excessivo de plástico no meio ambiente (BRITO *et al.*, 2011). Embora o currículo do ensino médio abranja a temática dos polímeros, com foco em aulas de química orgânica, é notável que essa abordagem se concentra mais nos polímeros sintéticos do que nos biodegradáveis. Diante disso, esta pesquisa propôs a elaboração de uma sequência didática utilizando uma metodologia de ensino definida como CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) a ser ministrada aos alunos do 2º ano do ensino médio de uma escola estadual em Araras, SP.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Biopolímeros

De acordo com Pires *et al.* (2015), os biopolímeros são polímeros ou copolímeros derivados de matérias-primas provenientes de fontes renováveis, como celulose, quitina, alginato, pectinas, entre outros. São amplamente disponíveis, de custo acessível, e os produtos resultantes da sua degradação demonstram ser biocompatíveis e não tóxicos. Devido às suas características coloidais, como espessamento, estabilização e formação de gel, esses materiais são extensivamente empregados nas áreas farmacêutica, alimentícia e biotecnológica.

Os biopolímeros possuem diversas aplicações no setor agrícola, tais como *seed tape*, condicionador de solo, *mulching*, recobrimento de sementes, remoção de contaminantes da água e do solo e encapsulamento de agentes ativos (MILANI *et al.* 2017; BANDOPADHYAY *et al.*, 2018; SANDER, 2019).

Outros componentes, como plastificantes, reguladores de pH e agentes reticulantes, são geralmente integrados aos biopolímeros para alterar as propriedades físicas e a funcionalidade dos filmes (HAN, GENNADIOS, 2005). As diversas origens de materiais biopoliméricos voltados para a produção de filmes e revestimentos, bem como suas características e aplicações no revestimento de sementes, têm sido objeto de revisão e exploração por diversos pesquisadores nos últimos anos (SCARSI, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2020; MACHADO *et al.*, 2021; LIMA, *et al.*, 2022; ZACHARIAS *et al.*, 2022).

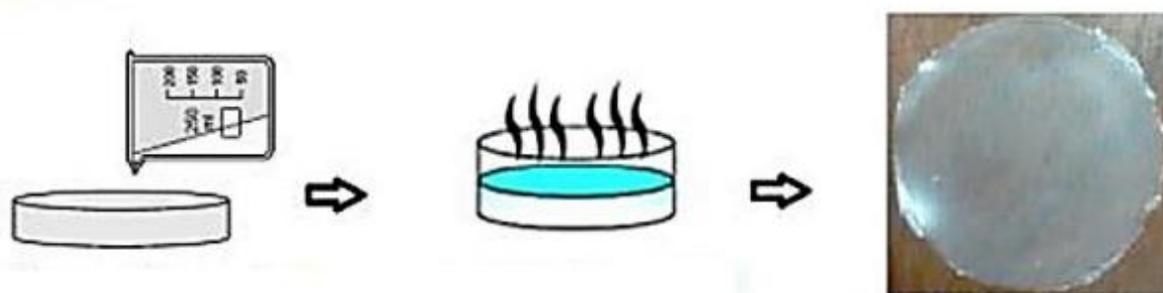
Os polissacarídeos, também conhecidos como hidrocolóides, geralmente exibem boas propriedades mecânicas e permeabilidade seletiva ao dióxido de carbono e ao oxigênio. Entretanto, manifestam uma resistência limitada à umidade devido às suas características hidrofílicas. Dentre os principais polissacarídeos, destaca-se a quitosana, um polissacarídeo amplamente encontrado na natureza, de extração fácil e custo reduzido, sendo utilizada para este estudo.

### 2.2. Métodos de produção de filmes

A formulação de filmes e coberturas requer o uso de pelo menos um componente capaz de formar uma matriz estrutural com adequada coesividade (MARINIELLO *et al.*, 2003). Segundo Tharanathan (2003), as forças coesivas estão intrinsecamente ligadas à estrutura do biopolímero, à natureza do solvente empregado, da temperatura e da presença de outras moléculas, tais como plastificantes e agentes reticulantes.

Para a produção de filmes, o método mais utilizado é o *casting*, que envolve a preparação de uma solução filmogênica, a aplicação dessa solução em um suporte ou molde apropriado, seguida pela secagem sob condições controladas (BUKZEM *et al*, 2012). Dentre outras abordagens que também podem ser aplicadas na fabricação de filmes, incluem-se as técnicas convencionais do processamento de plásticos flexíveis, como extrusão, co-extrusão e laminação. A técnica de casting apresenta vantagem sobre as outras por ter um menor custo e por ser mais viável dentro do laboratório, porém, por não se tratar de um procedimento rápido, não é utilizado para larga escala em indústrias (ANBUKARASU *et al.*, 2015; MACHADO, 2017; SILVA, 2018).

O procedimento de formação de filmes, independentemente da técnica empregada, geralmente implica em associações intra e intermoleculares ou ligações cruzadas entre cadeias, resultando na formação de uma rede tridimensional semi-rígida que confere resistência estrutural ao material (THARANATHAN, 2003).



**Figura 1.** Representação esquemática da produção de filmes por *casting*. Adaptado de Liu & Han. (2005).

Os procedimentos relatados na literatura para a criação e implementação de revestimentos biodegradáveis estão limitados a técnicas não-contínuas de pequena escala. A solução filmogênica consiste em um sistema coloidal binário, composto por moléculas do biopolímero dispersas em um meio contínuo (água ou solvente ácido ou alcalino), gerando uma mistura estável. Os filmes e revestimentos devem atender a requisitos específicos, como excelentes propriedades de barreira (permeabilidade ao vapor de água, ao  $O_2$  e ao  $CO_2$ ), desempenho mecânico eficiente (resistência e flexibilidade), características ópticas e sensoriais adequadas, além de apresentar custo reduzido de matéria-prima e produção (DEBEAUFORT *et al.*, 1998). As particularidades e as propriedades operacionais do filme são impactadas diretamente pela natureza do biopolímero empregado (conformação, massa molecular e distribuição de cargas), pelos procedimentos e condições adotados durante a fabricação do filme

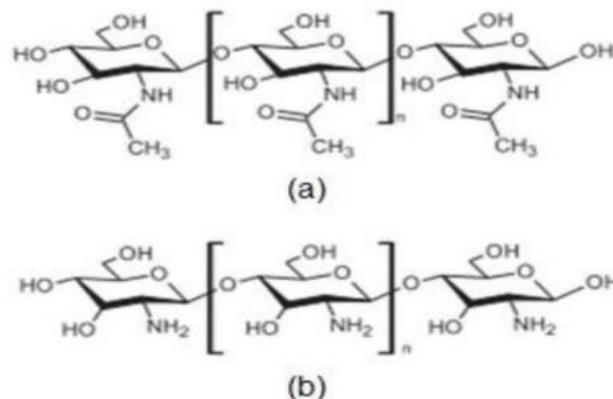
(pH, concentração de biopolímero, agentes reticulantes e tratamento térmico da solução), e igualmente pelas circunstâncias ambientais (umidade relativa e temperatura) (CUQ *et al.*, 1996).

### 2.2.1. Quitosana

A quitosana representa um polissacarídeo obtido por meio do processo de desacetilação da quitina, que está presente nos exoesqueletos de artrópodes, nas paredes celulares de fungos e em outros componentes biológicos. A quitina é o segundo biopolímero natural mais prevalente, superado apenas pela celulose, sendo os resíduos do processamento de crustáceos, como camarão, siri e lagosta, sua principal fonte comercial. O camarão contém aproximadamente de 5 a 7% de quitina, enquanto o siri apresenta de 15 a 20% (PARK *et al.*, 2001; GARCÍA *et al.*, 2004; MOURA *et al.*, 2007).

Em termos moleculares, a quitosana é um copolímero constituído por unidades de D-glicosamina e N-acetil-D glucosamina unidas por ligações glicosídicas do tipo  $\beta$  (1,4). No processo de desacetilação com soluções alcalinas concentradas e altas temperaturas, parte dos grupos N-acetil (NHCOCH<sub>3</sub>) da quitina (Figura 1a), são transformados em grupos amínicos livres (NH<sub>2</sub>) (Figura 1b), conferindo à quitosana natureza catiônica (GARCÍA *et al.*, 2004; LOPEZ-CABALLERO *et al.*, 2005; RASOULZADEHZALI; NAMAZI, 2018; SHUKLA *et al.*, 2013; KUMAR *et al.*, 2019).

A quitosana é insolúvel em água e solúvel em ácidos fracos. Ela demonstra uma notável habilidade na formação de filmes e é uma poliamina linear com grupos amino disponíveis para participar em reações químicas, sendo essa a sua propriedade mais destacada. A massa molar e o grau de desacetilação da quitosana variam conforme a origem e as condições do processo de produção, resultando em quitosanas que exibem distintas características funcionais (SHU *et al.*, 2001; MOURA *et al.*, 2007).



**Figura 2.** Estrutura da quitina (a) e da quitosana (b). Shukla *et al.* (2013).

A quitosana tem despertado grande interesse devido às suas propriedades de biocompatibilidade, caráter catiônico e biodegradabilidade, com aplicação em diversas áreas como biomateriais para medicina, membranas filtrantes para tratamento de efluentes, embalagens para alimentos, bem como filmes e recobrimentos para uso na agricultura. Kashyap *et al.* (2015) descreveram as características e aplicações de sistemas de liberação controlada à base de quitosana para aplicações na agricultura.

A quitosana tem sido associada à inibição do crescimento de uma ampla variedade de fungos, leveduras e bactérias. Segundo Bégin e Van Calsteren (1999), as cargas positivas da quitosana reagem com as cargas negativas das macromoléculas na superfície do microrganismo, provavelmente competindo por íons cálcio nos sítios eletronegativos, impedindo assim uma estabilidade dimensional causando rompimento da membrana celular. A formulação e condições de fabricação dos recobrimentos incluindo pH do solvente, concentração do biopolímero, força iônica, presença de plastificante são parâmetros importantes para o controle da porosidade e das propriedades físico-químicas e de barreira das coberturas (CHEN *et al.*, 1996; ARVANITTOYANNIS *et al.*, 1998).

### **2.3. Agente plastificante: glicerol**

A quitosana é um exemplo de biopolímero utilizado para recobrir as mais variadas sementes. Da Silva Filho *et al.* (2021), afirmam que as características físico-químicas (grau de acetilação e massa molar absoluta média) do composto influenciam diretamente em sua aplicação. Porém, poucos estudos relacionam as propriedades da quitosana com o recobrimento de sementes, sendo uma área promissora para novos estudos, incluindo a adequação das concentrações da solução do biopolímero e o uso de aditivos juntamente com a quitosana (DA SILVA FILHO *et al.*, 2021).

Diversos estudos mostram que é possível vincular a quitosana à algum plastificante com o intuito de melhorar suas propriedades mecânicas como o polietileno glicol (FIORI *et al.*, 2014), solventes eutéticos profundos (ALVES, 2023), glicerol (TANADA-PALMU *et al.*, 2005), entre outros.

O glicerol (1,2,3 propanotriol), ou glicerina é um poliálcool incolor, viscoso e higroscópico (BARROS, 2021). Este agente plastificante já é utilizado em conjunto com a quitosana para formação de filmes, pois auxilia na melhoria das propriedades mecânicas e proporciona uma melhor flexibilidade ao filme (MACHADO *et al.*, 2021). O glicerol tem sido extensivamente empregado no método de fabricação de filmes a base de biopolímeros, sendo

reconhecido como uma matéria-prima renovável. Por atuar como um agente plastificante, sua incorporação em filmes biodegradáveis induz mudanças significativas em suas características, proporcionando, dessa forma, uma vasta gama de utilizações. Sem a presença desse plastificante, o filme exibe uma estrutura rígida e quebradiça, tornando impraticável sua produção (GONÇALVES *et al.*, 2019).

Tanada-Palmu *et al.* (2005), ao recobrir sementes de brócolis e salsa com quitosana associada ao glicerol e gelatina (variando o número de camadas com concentração a 2% m/v misturado ao glicerol) concluíram que esse processo apresenta potencial para as pesquisas voltadas à agricultura, pois não afetou sua qualidade, mostrando resultados satisfatórios quanto a germinação e ao vigor (testes de emergência, matéria fresca da parte aérea e matéria seca da parte aérea) e ao desenvolvimento da planta em suas pesquisa. No entanto, os autores não especificaram a concentração de glicerol utilizada nos testes.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral**

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da concentração de quitosana e glicerol nas propriedades físico-químicas e de barreira de filmes de quitosana. Complementarmente à pesquisa experimental realizada, propõe-se a elaboração de uma sequência didática visando a aplicação dessa temática no âmbito do ensino de química.

#### **3.2. Objetivos específicos**

Para organizar o desenvolvimento do trabalho, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- a) Determinar a massa molar e o grau de desacetilação da quitosana;
- b) Preparar as soluções poliméricas com diferentes concentrações de quitosana e glicerol;
- c) Produzir filmes com as soluções poliméricas;
- d) Avaliar as características das coberturas em termos de espessura, umidade, absorção de água, permeabilidade ao vapor de água, cristalinidade e estrutura química;
- f) Sugerir uma proposta pedagógica de aplicação dos conceitos abordados no trabalho no âmbito do ensino de química.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Matérias-primas

Para as soluções de recobrimento, foi utilizada quitosana de massa molar média (Polymar, Brasil), ácido acético glacial (Synth, Brasil) e glicerol (Synth, Brasil). Os demais reagentes são de grau analítico.

### 4.2. Caracterização da quitosana

#### 4.2.1. Massa molar

A massa molar da quitosana foi estimada através do método viscosimétrico utilizando-se um viscosímetro capilar tipo Ostwald-Cannon Fenske (nº 200) a 25°C. Preparou-se soluções de quitosana 0,001; 0,003; 0,006; 0,009 e 0,012 g/mL utilizando-se como solvente o sistema aquoso – ácido acético 0,1 mol.L<sup>-1</sup> - cloreto de sódio 0,2 mol.L<sup>-1</sup>. Utilizou-se a viscosidade intrínseca  $[\eta]$  para estimar a massa molar média ( $\bar{M}_v$ ) utilizando a equação de Mark-Houwink-Sakurada (Equação 1) na qual as constantes para a quitosana no solvente utilizado são  $K=1,8 \times 10^{-3}$  mL/g e  $a=0,93$  (CANELLA E GARCIA, 2001).

$$[\eta] = K \bar{M}_v^a \quad (1)$$

#### 4.2.2. Grau de desacetilação

O grau de acetilação da quitosana (%GA) e o grau de desacetilação (%GD) foram calculados através das Equações 2 e 3, respectivamente. Na Equação 2, os valores de  $A_{1320}$  e  $A_{1420}$  correspondem as absorbâncias das bandas obtidas a 1320 e 1420 cm<sup>-1</sup> do espectro de infravermelho (BRUGNEROTTO *et al.*, 2001). Os valores O espectro de FTIR da quitosana foi obtido através de um espectrômetro Brucker Tensor II operando na faixa de 400 a 4000 cm<sup>-1</sup>, com resolução de 4 cm<sup>-1</sup> e 128 scans. A amostra foi macerada com KBr (1:200) e moldada em disco uma prensa hidráulica.

$$\frac{A_{1320}}{A_{1420}} = 0,3822 + 0,03133 \%GA \quad (2)$$

$$\%GD = 100 - \%GA \quad (3)$$

### 4.3. Planejamento experimental

O efeito das concentrações de quitosana e glicerol nas propriedades dos filmes foi avaliado através de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)  $2^2$  com três repetições no ponto central e quatro pontos axiais, totalizando onze ensaios (KHURI; CORNELL, 1987). Este planejamento foi o mesmo proposto no trabalho de Zacharias (2022) o qual avaliou o potencial fisiológico de sementes de milho revestidas com as mesmas formulações de quitosana do presente estudo.

Os níveis das variáveis independentes utilizados no planejamento experimental, definidos com base no trabalho de Zacharias (2022), estão apresentados na Tabela 1 e a matriz de experimentos com os valores dos níveis reais e codificados das variáveis estudadas está apresentada na Tabela 2. As respostas determinadas (variáveis dependentes) foram a espessura, a permeabilidade ao vapor de água (PVA), o teor de umidade e a absorção de água, cujos métodos estão descritos a seguir nos itens 4.4.1 a 4.4.4. Os dados experimentais obtidos foram analisados por meio da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) utilizando-se o Software Statistica 7.0 (STATSOFT INC., 2004).

**Tabela 1.** Variáveis e níveis utilizados no planejamento fatorial completo  $2^2$  com pontos axiais para a formulação dos revestimentos de quitosana.

	Variável	Nível				
		-1,41	-1	0	+1	+1,41
X <sub>1</sub>	Concentração de quitosana (g/100 mL)	0,6	1,0	2,0	3,0	3,4
X <sub>2</sub>	Concentração de glicerol (g/g quitosana)	0,0	0,09	0,30	0,51	0,60

**Tabela 2.** Matriz de experimentos do Planejamento Fatorial Completo  $2^2$  com pontos axiais para a formulação dos revestimentos de quitosana.

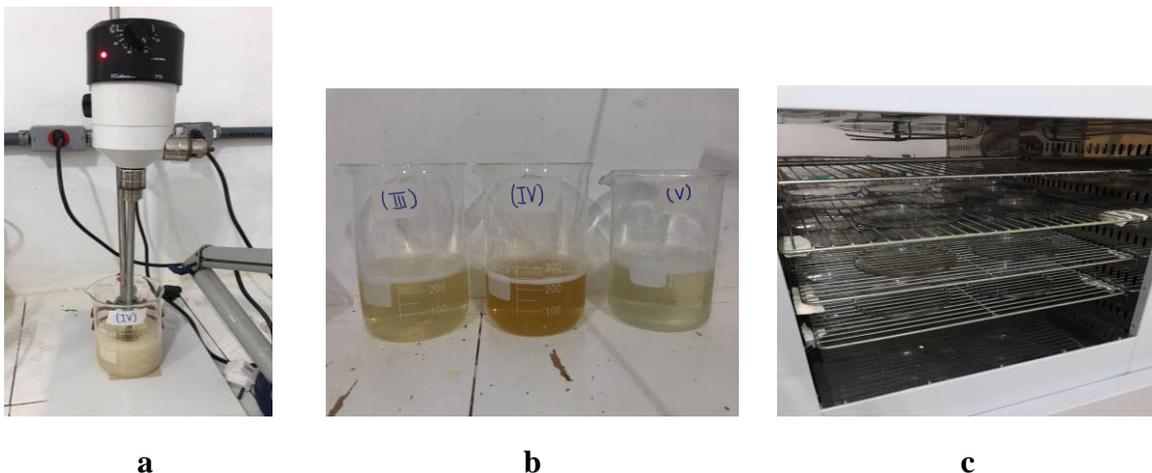
Formulação	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
I	1,0 (-1)	0,09 (-1)
II	3,0 (+1)	0,09 (-1)
III	1,0 (-1)	0,51 (+1)
IV	3,0 (+1)	0,51 (+1)
V	0,6 (-1,41)	0,30 (0)
VI	3,4 (+1,41)	0,30 (0)
VII	2,0 (0)	0,0 (-1,41)
VIII	2,0 (0)	0,60 (+1,41)
IX	2,0 (0)	0,30 (0)
X	2,0 (0)	0,30 (0)
XI	2,0 (0)	0,30 (0)

X<sub>1</sub>= Concentração de quitosana (g quitosana/100 mL), X<sub>2</sub> = concentração de glicerol (g glicerol/g quitosana). Valores entre parênteses são os níveis codificados das variáveis.

#### 4.4. Processo de elaboração da solução de cobertura e dos filmes de quitosana

Os filmes foram obtidos segundo a técnica de *casting*, que consiste na preparação da solução filmogênica e sua aplicação em um suporte (placas de polipropileno,  $d=14$  mm). A espessura dos filmes foi controlada através da massa de solução filmogênica aplicada no suporte (50 g).

O glicerol (em concentrações de 0-0,60 g/g quitosana) foi adicionado em solução de ácido acético 1,5% m/v (Synth, Brasil) sob agitação mecânica durante 3 minutos antes da adição do biopolímero. Em seguida, a quantidade apropriada (concentrações entre 0,6-3,4 g/100mL) de quitosana foi adicionada e a solução mantida sob agitação mecânica constante (1000 rpm) durante 1 hora. A Figura 3 ilustra o sistema experimental para o preparo da solução filmogênica e produção dos filmes.



**Figura 3.** Preparo da solução de biopolímero (a), soluções de quitosana (b) e secagem dos filmes (c).

O pH das soluções foi medido após o preparo em pHmetro de bancada (Digimed D-22) e ajustado para 4,7 com NaOH (1 mol/L) a temperatura ambiente. Os suportes contendo as soluções filmogênicas foram mantidos por 18 horas a 38°C em estufa com recirculação de ar.

Todos os filmes foram acondicionados em dessecador à temperatura ambiente e umidade relativa de 52% (controlada com solução de nitrato de magnésio) durante pelo menos 3 dias, antes da realização dos ensaios de caracterização.

## 4.5. Caracterização dos filmes

### 4.5.1. Espessura

A espessura média dos filmes foi obtida pela média aritmética dos valores de dez medidas aleatórias em diferentes pontos do filme, utilizando-se um micrômetro digital (Mitutoyo, MDC-25S, Japão).

### 4.5.2. Permeabilidade ao vapor de água (PVA)

A permeabilidade ao vapor d'água foi determinada gravimetricamente, em triplicata, de acordo com o método E95-96 (ASTM, 1995b), utilizando-se uma célula de acrílico com um volume interno de 30 mL e que dispõe de uma tampa com abertura central de 15,21 cm<sup>2</sup> na qual se fixa o filme. Cloreto de cálcio anidro granulado (ECIBRA, SÃO PAULO, BRASIL) foi utilizado para preencher o fundo da célula até próximo à borda que foi mantida dentro de outro recipiente de acrílico, de 500 mL, hermeticamente fechado. O fundo desse recipiente continha uma solução saturada de NaCl (SYNTH, DIADEMA, BRASIL) para manter o ambiente a 75% UR. A variação de massa da célula com o tempo corresponde à taxa com que a água que permeou pelo filme e foi usada para calcular o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água (Equação 4).

$$PVA = \frac{G \cdot \delta}{Ae \cdot \Delta PH_2O} \quad (4)$$

Onde: PVA é o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água (g.mm/m<sup>2</sup>.dia.KPa),  $\delta$  é a espessura do filme (mm), G é a taxa de permeação (g/dia) calculada por regressão linear de ganho de massa versus tempo, Ae é a área exposta do filme (m<sup>2</sup>) e PH<sub>2</sub>O é a diferença de pressão parcial de vapor da água no ambiente dos dois lados do filme (KPa).

### 4.5.3. Absorção de água

Amostras de filmes (3 x 3 cm), em triplicata, foram secas em estufa a 105°C por 24h e pesadas, e então acondicionadas em dessecadores contendo diferentes soluções salinas com umidade relativa de 75% (cloreto de sódio) e 98% (cloreto de bário). Em determinados intervalos de tempo as amostras foram pesadas e o conteúdo de água absorvido (%WU) foi calculado de acordo com a Equação 5, onde m<sub>0</sub> é a massa da amostra seca no tempo zero e m<sub>a</sub> a massa da amostra nos diferentes intervalos de tempo (OLIVEIRA *et al.* 2009).

$$\%WU = \frac{m_a - m_o}{m_o} \cdot 100 \quad (5)$$

#### 4.5.4. Conteúdo de umidade

O conteúdo de umidade dos filmes foi determinado em triplicata pelo método gravimétrico em estufa a vácuo a 105°C por 24 horas, segundo a Equação 6.

$$\%U = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (6)$$

Onde:  $m_i$  é a massa inicial da amostra antes da secagem e  $m_f$  a massa final após a secagem.

#### 4.5.5. Cristalinidade

A técnica da difração por raios X foi utilizada para análise da cristalinidade dos filmes. Os difratogramas foram obtidos utilizando-se refratômetro Rigaku Miniflex 600, com uma faixa de varredura  $2\theta = 2^\circ$  a  $90^\circ$ , radiação CuK ( $\lambda = 1518 \text{ \AA}$ ), velocidade de 0,2 o min<sup>-1</sup>, tensão 40 kV e corrente 15 mA.

#### 4.5.6. Estrutura química

A estrutura química foi avaliada através de espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), utilizando-se um espectrômetro Brucker modelo Tensor II. Os espectros foram obtidos à temperatura ambiente, em modo ATR (reflexão total atenuada), na região de 550 - 4000 cm<sup>-1</sup>, com 16 varreduras e resolução de 4 cm<sup>-1</sup>.

#### 4.5.7. Análises estatísticas

A análise estatística dos dados foi efetuada por meio de análise de variância (ANOVA) e do teste de Tukey, a fim de determinar diferenças significativas entre as médias, a um nível de probabilidade de 5% ( $p < 0,05$ ). O Software Statistica 7.0 (STATSOFT INC., 2004) foi utilizado para esses cálculos.

### 4.6. Proposta de aplicação dos conceitos abordados no trabalho experimental no âmbito do ensino de química

Uma proposta pedagógica foi elaborada, utilizando a abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), sigla incorporada por Ziman (1980), porém a ideia é defendida desde a década de 70 por Paulo Freire. Propôs-se uma sequência didática que incorporasse alguns dos

temas abordados no currículo de estudantes do ensino médio, conectando-os ao estudo de polímeros, reações ácido-base e questões ambientais.

Essa metodologia foi escolhida a partir de vivências pessoais ao decorrer do curso de graduação, e a aula foi ministrada segundo o currículo paulista (SÃO PAULO, 2022) do ensino médio (Habilidade EM13CNT307) aos alunos do 2º ano de química de uma escola estadual da cidade de Araras-SP durante a disciplina de Estágio Obrigatório.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização da quitosana

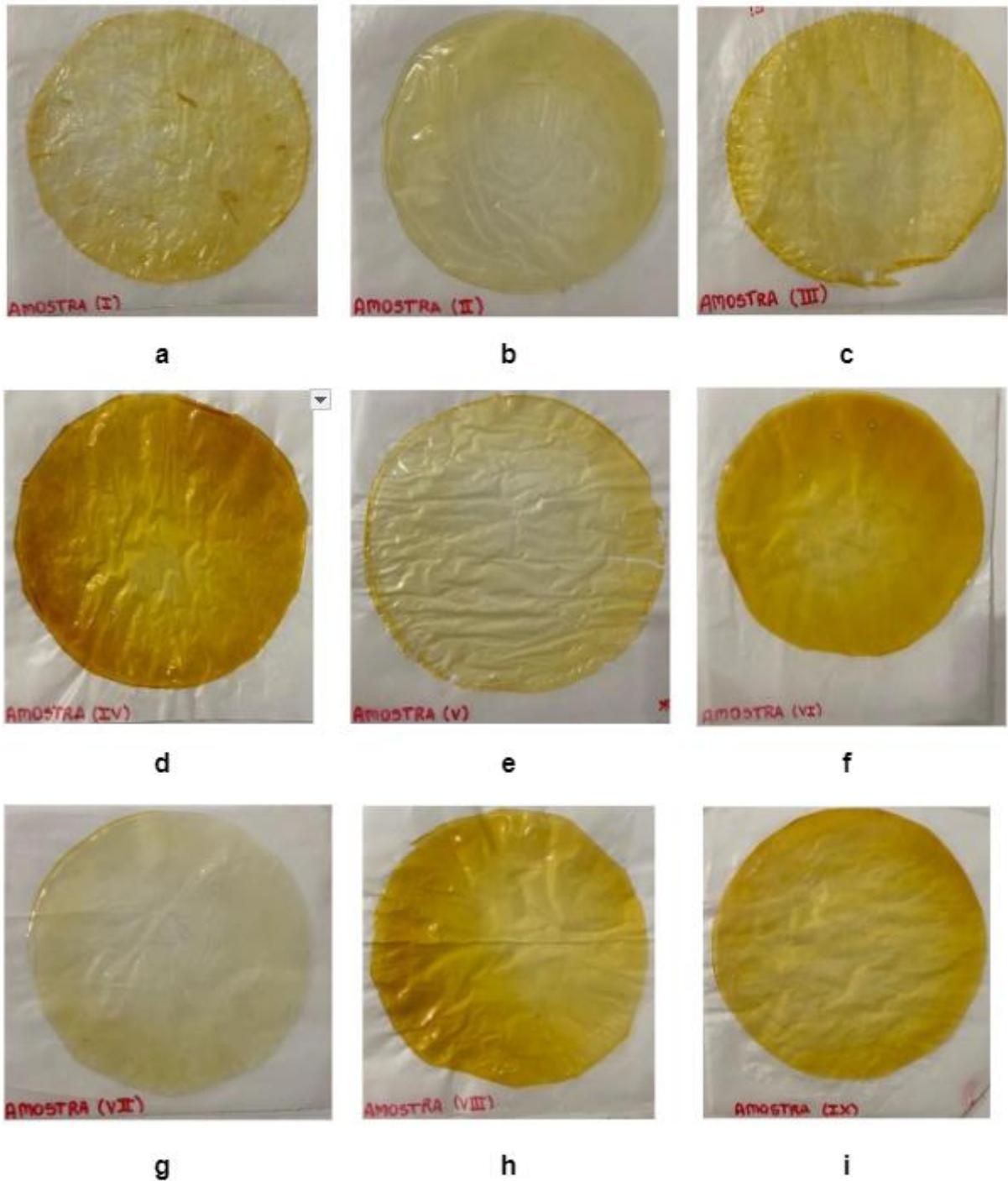
A massa molar da quitosana, calculada por viscosimetria, foi de  $3,7 \times 10^5$  g/mol. A Tabela 3 apresenta o grau de desacetilação da quitosana utilizada, calculado a partir dos dados de absorbância obtidos pelo espectro de FTIR da quitosana (pó). O valor obtido é característico da quitosana, pois está acima da faixa de 75%, onde menor que esse valor, se configura a quitina (ROCHA *et al.*, 2014).

**Tabela 3.** Grau de desacetilação da quitosana utilizada na produção dos filmes

Amostra	Abs <sub>1320</sub>	Abs <sub>1420</sub>	Abs <sub>1320</sub> /Abs <sub>1420</sub>	%GA	%GD
Quitosana (pó)	0,0447	0,0566	0,7902	13,02	86,98

### 5.2. Caracterização dos filmes

A Figura 4 apresenta o aspecto visual dos filmes de quitosana produzidos a partir das diferentes formulações. Foi possível observar que o aumento da concentração de quitosana conferiu um aspecto mais homogêneo as matrizes poliméricas, pois as matrizes menos concentradas possuíam pequenas manchas e cores não muito proporcionais, além da melhoria da manuseabilidade dos filmes. Os filmes menos concentrados eram mais finos e rasgavam com mais facilidade, o que gerou uma dificuldade de manuseio e recortes para as análises. Todos os filmes apresentaram coloração amarelada característica da quitosana. O uso do glicerol em diferentes concentrações conferiu diferença no aspecto de maleabilidade dos filmes, onde os que possuíam maior concentração do agente plastificante se mostravam mais maleáveis que os menos concentrados, devido aos grupos hidroxila que interagem com a estrutura da quitosana.



**Figura 4.** Aspecto visual dos filmes de quitosana produzidos a partir de soluções com diferentes concentrações de quitosana (g quitosana / 100 mL de solução) e glicerol (g / g quitosana): (a) 1,0/0,09, (b) 3,0/0,09, (c) 1,0/0,51, (d) 3,0 / 0,51, (e) 0,6/0,30, (f) 3,4/0,30, (g) 2,0/0,00, (h) 2,0/0,60, (i) 2,0/0,30.

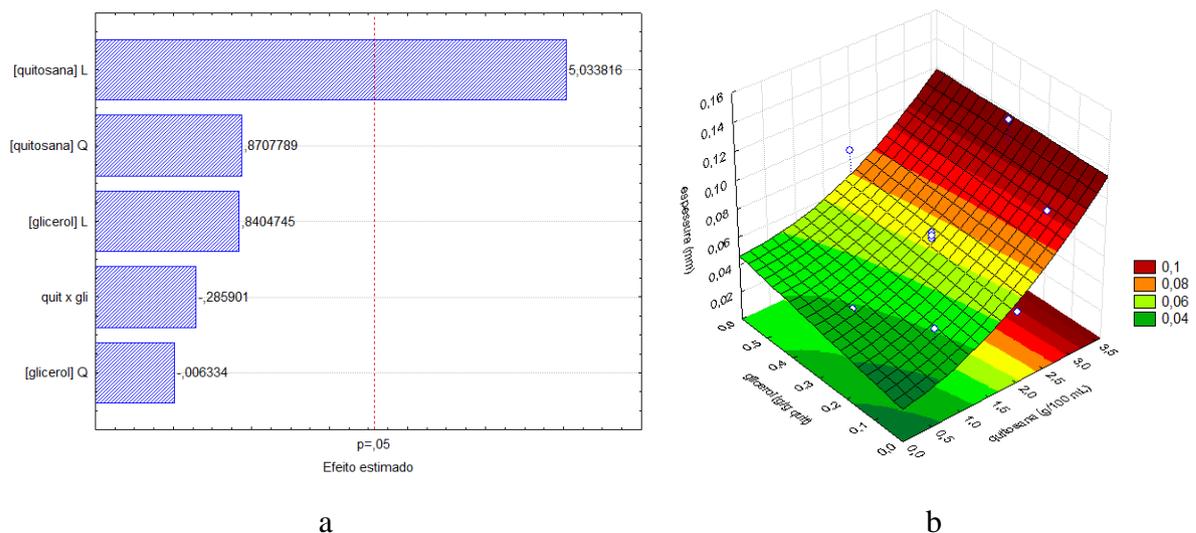
As espessuras médias dos filmes variaram de 0,038 a 0,121 mm e estão apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Espessura média dos filmes de quitosana

Filme [quit] (g/100mL) / [glic] (g/ g quit)	Espessura (mm) *
I (1,0/0,09)	0,046 ± 0,012 <sup>d</sup>
II (3,0/0,09)	0,091 ± 0,016 <sup>b</sup>
III (1,0/0,51)	0,041 ± 0,013 <sup>d</sup>
IV (3,0/0,51)	0,078 ± 0,019 <sup>c</sup>
V (0,6/0,30)	0,038 ± 0,012 <sup>d</sup>
VI (3,4/0,30)	0,121 ± 0,023 <sup>a</sup>
VII (2,0/0,00)	0,051 ± 0,005 <sup>d</sup>
VIII (2,0/0,60)	0,087 ± 0,019 <sup>b</sup>
IX (2,0/0,30)	0,069 ± 0,020 <sup>c</sup>
X (2,0/0,30)	0,078 ± 0,025 <sup>c</sup>
XI (2,0/0,30)	0,064 ± 0,012 <sup>c</sup>

\*Média ± desvio padrão de 10 determinações experimentais. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Os efeitos das variáveis sobre a espessura dos filmes podem ser observados no gráfico de Pareto e na superfície de resposta da Figura 5 a e b. Observa-se que na faixa estudada, com intervalo de confiança de 95%, a concentração de quitosana apresentou efeito positivo e afetou significativamente a espessura dos filmes. Isso era esperado uma vez que o aumento do teor de sólidos na solução tende a formar estruturas mais espessas considerando que o volume de solução depositado na placa foi mantido constante. O uso do glicerol tende a aumentar discretamente as espessuras dos filmes com maior concentração de quitosana.



**Figura 5.** Gráfico de Pareto (a) e superfície de resposta (b) para o efeito das variáveis concentração de quitosana e concentração de glicerol na espessura dos filmes de quitosana.

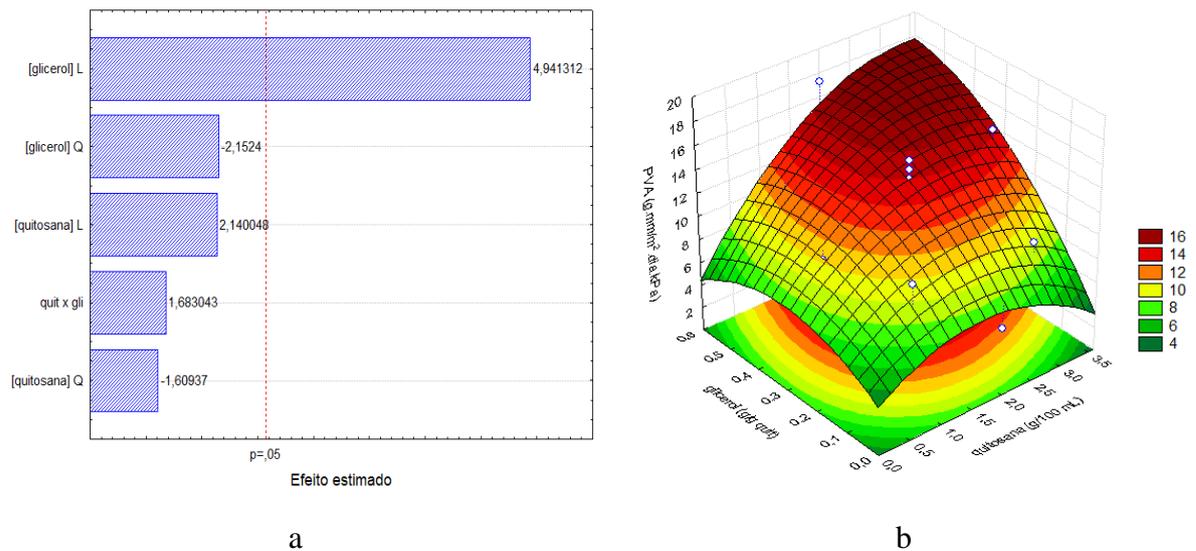
A transferência de água em materiais poliméricos ocorre através da difusão molecular. Este processo envolve três etapas: a absorção na matriz polimérica; a migração através dos poros formados na cadeia polimérica e posterior dessorção a partir da outra superfície do filme (KESTER E FENNEMA, 1986). Essa característica de barreira pode ser avaliada pelo coeficiente de permeabilidade ao vapor de água, definido como a taxa de transmissão de vapor de água através de um filme de espessura conhecida, por unidade de área, induzida por um gradiente de pressão parcial de vapor d'água entre as superfícies do material (DEBEAUFORT *et al.*, 1998). Os valores dos coeficientes de permeabilidade ao vapor de água dos filmes variaram de 5,80 a 17,24 g.mm/m<sup>2</sup>.dia.kPa (Tabela 5). O glicerol promoveu aumento da PVA dos filmes, evidenciando menor compactação da estrutura polimérica que favoreceu a transferência de água através da matriz polimérica. De acordo com a definição estabelecida por Krochta e De Mulder Johnston (1997), os filmes de quitosana obtidos no presente trabalho encontram-se nas faixas consideradas como moderada, que compreende valores de PVA entre 0,1-10 g.mm/m<sup>2</sup>.dia.kPa e alta (>10 g.mm/m<sup>2</sup>.dia.kPa).

Os gráficos da Figura 6 evidenciam o efeito significativo do aumento da concentração de glicerol no aumento do PVA dos filmes, sobretudo nos filmes com maior concentração de biopolímero uma vez que esse parâmetro é influenciado pela espessura.

**Tabela 5.** Permeabilidade ao vapor de água dos filmes de quitosana

Filme [quit] (g/100mL) / [glic] (g/g quit)	PVA (g.mm/m <sup>2</sup> .dia.kPa) *
I (1,0/0,09)	10,47 ± 1,42 <sup>b</sup>
II (3,0/0,09)	9,29 ± 0,34 <sup>b</sup>
III (1,0/0,51)	11,12 ± 0,04 <sup>b</sup>
IV (3,0/0,51)	15,50 ± 2,22 <sup>a</sup>
V (0,6/0,30)	9,89 ± 2,10 <sup>b</sup>
VI (3,4/0,30)	14,71 ± 1,03 <sup>a</sup>
VII (2,0/0,00)	5,80 ± 0,31 <sup>c</sup>
VIII (2,0/0,60)	17,24 ± 1,84 <sup>a</sup>
IX (2,0/0,30)	14,36 ± 0,76 <sup>a</sup>
X (2,0/0,30)	15,13 ± 0,54 <sup>a</sup>
XI (2,0/0,30)	13,60 ± 0,54 <sup>a</sup>

\*Média ± desvio padrão de 3 determinações experimentais. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).



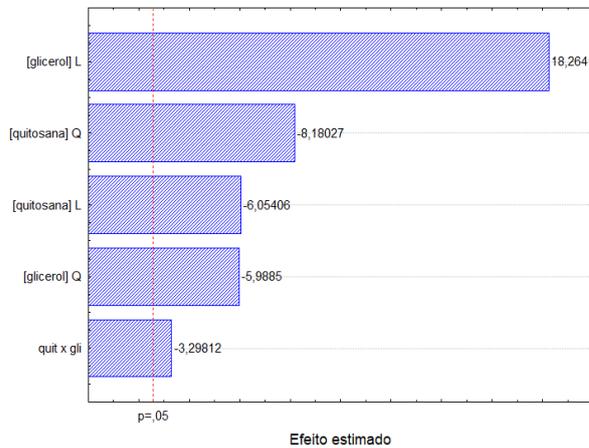
**Figura 6.** Gráfico de Pareto (a) e superfície de resposta (b) para o efeito das variáveis concentração de quitosana e concentração de glicerol no PVA dos filmes de quitosana.

A Tabela 6 mostra o conteúdo de umidade dos filmes. Este parâmetro variou de 14,66 a 31,15 g H<sub>2</sub>O/100 g filme. Estes valores são típicos de filmes de biopolímeros reportados na literatura (RHIM, 2004; GARCIA *et al.* 2004; da SILVA *et al.*, 2009). Rhim (2004) relata que a umidade de biofilmes é dependente do método de preparação e que a hidrofiliçidade afeta a estrutura polimérica e, conseqüentemente, a sorção de moléculas de água e as propriedades de permeação dos filmes. Os filmes de quitosana com menores concentrações de glicerol tenderam a apresentar um menor conteúdo de umidade. Essa tendência pode ser observada na Figura 7 a e b, onde a concentração de glicerol apresentou o maior efeito significativo, indicando que o aumento da concentração de glicerol aumentou significativamente a umidade dos filmes. Por outro lado, a concentração de quitosana teve um efeito negativo indicando que um aumento na concentração do biopolímero tende a diminuir a umidade. Isso pode ser atribuído a maior coesividade das matrizes poliméricas mais concentradas. Pelo gráfico de Pareto (Figura 7, a) pode-se observar efeito significativo dos termos quadráticos, indicando que a relação entre as concentrações de quitosana e glicerol e o conteúdo de umidade seguem uma linha curva demonstrada pela Figura 7 b.

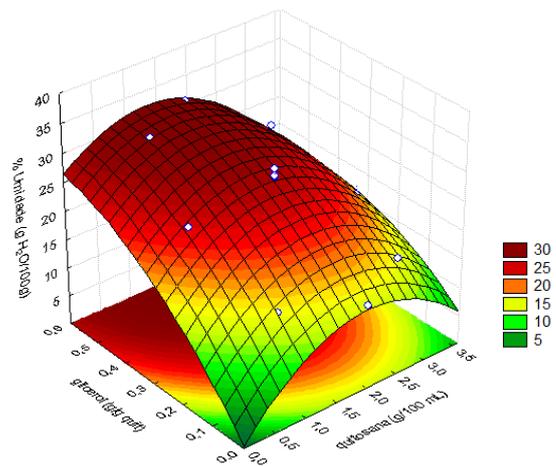
**Tabela 6.** Conteúdo de umidade dos filmes de quitosana

Filme [quit] (g/100mL) / [glic] (g/g quit)	Conteúdo de umidade (g H <sub>2</sub> O/ 100g) *
I (1,0/0,09)	15,04 ± 2,48 <sup>c</sup>
II (3,0/0,09)	14,92 ± 1,13 <sup>c</sup>
III (1,0/0,51)	31,15 ± 2,85 <sup>a</sup>
IV (3,0/0,51)	24,82 ± 1,08 <sup>b</sup>
V (0,6/0,30)	24,40 ± 5,77 <sup>b</sup>
VI (3,4/0,30)	17,55 ± 0,66 <sup>c</sup>
VII (2,0/0,00)	14,66 ± 1,06 <sup>c</sup>
VIII (2,0/0,60)	30,67 ± 1,34 <sup>a</sup>
IX (2,0/0,30)	26,28 ± 1,74 <sup>b</sup>
X (2,0/0,30)	26,86 ± 0,98 <sup>b</sup>
XI (2,0/0,30)	28,17 ± 0,78 <sup>b</sup>

\*Média ± desvio padrão de 3 determinações experimentais. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).



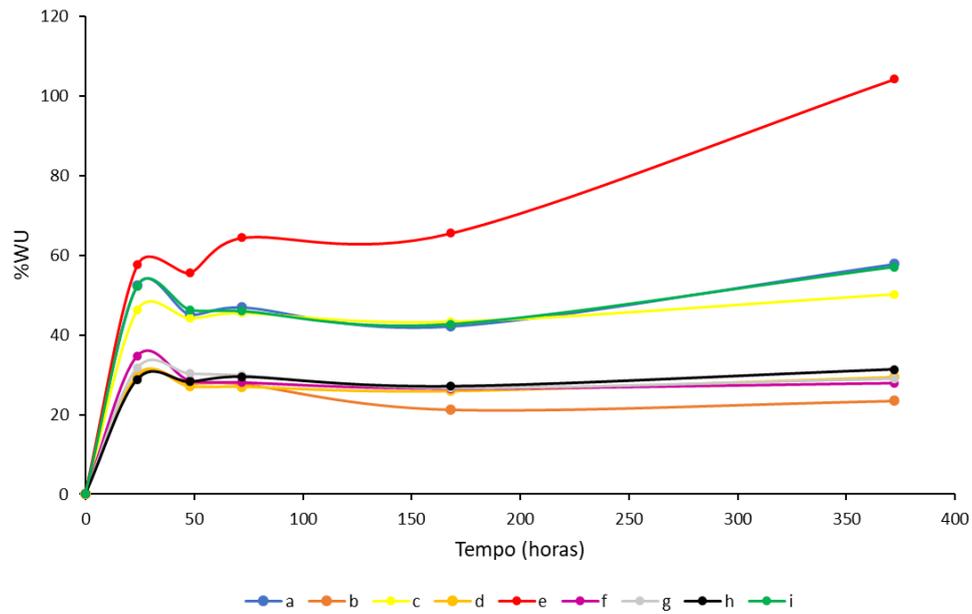
a



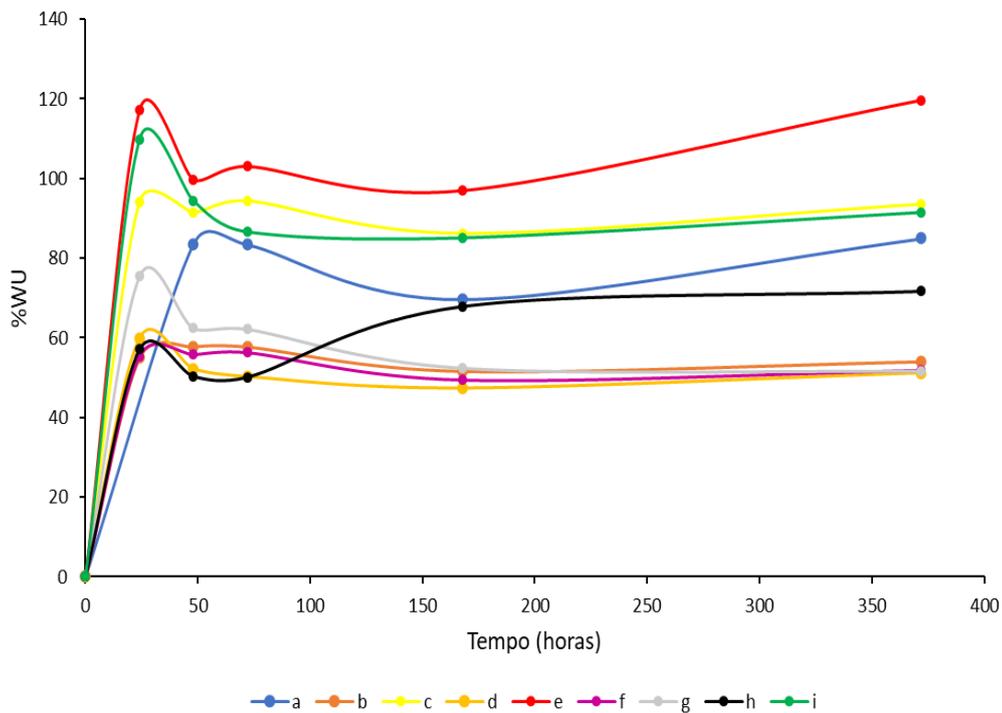
b

**Figura 7.** Gráfico de Pareto (a) e superfície de resposta (b) para o efeito das variáveis concentração de quitosana e concentração de glicerol no conteúdo de umidade dos filmes de quitosana.

As Figuras 8 e 9 apresentam os perfis cinéticos de absorção de água dos filmes expostos a umidades relativas de 75% e 98%, respectivamente. Em ambas umidades relativas (75 e 98%) a mesma tendência de absorção foi observada, refletindo a afinidade da quitosana e do glicerol pela água. Os perfis cinéticos de absorção de água mostram comportamento característico de matrizes hidrofílicas, com um período de rápida absorção de água até o estabelecimento do equilíbrio. Na umidade relativa de 98% os filmes tenderam a absorver uma maior quantidade de água, comparada com a de 75%.

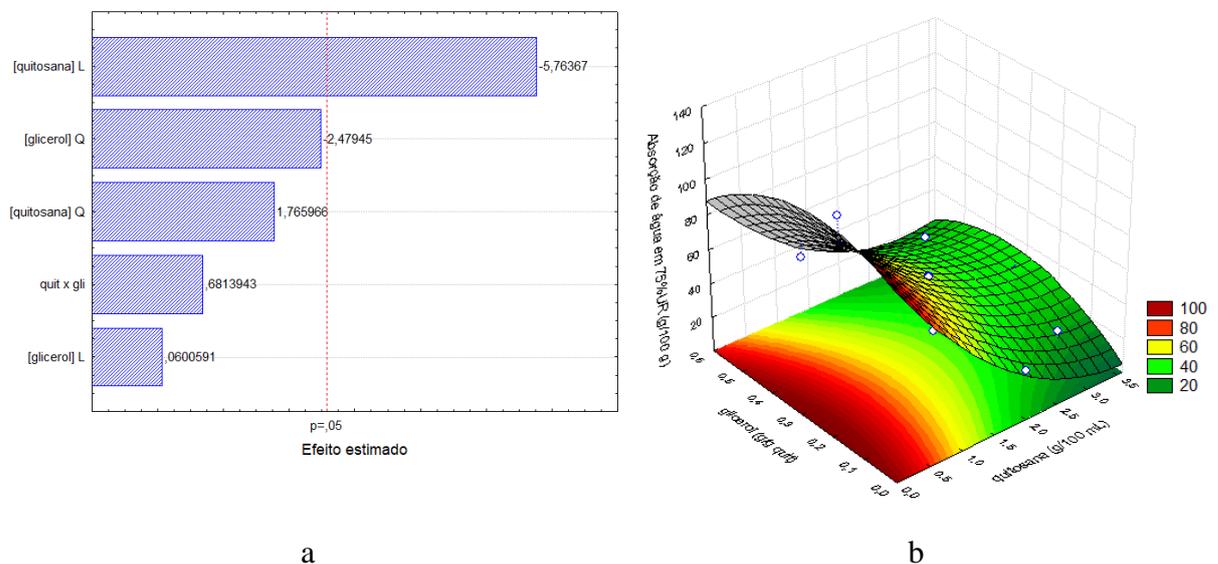


**Figura 8.** Perfil de absorção de umidade na umidade relativa de 75% dos filmes de quitosana produzidos a partir de soluções com diferentes concentrações de quitosana (g quitosana/100 mL de solução) e glicerol (g /g quitosana): (a) 1,0/0,09, (b) 3,0/0,09, (c) 1,0/0,51, (d) 3,0 / 0,51, (e) 0,6/0,30, (f) 3,4/0,30, (g) 2,0/0,00, (h) 2,0/0,60, (i) 2,0/0,30.

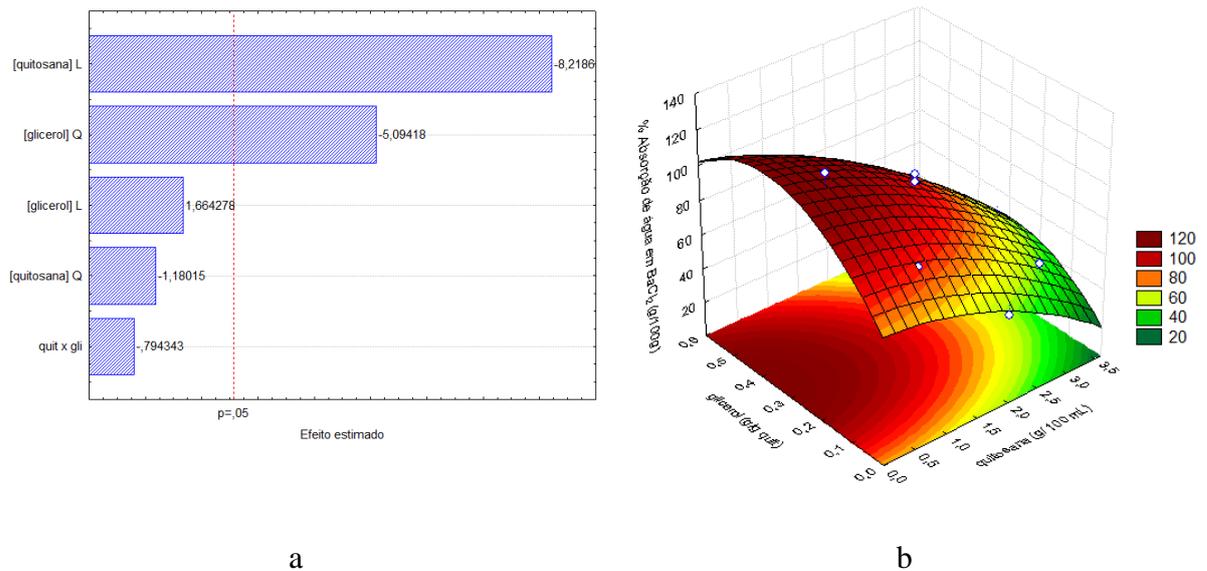


**Figura 9.** Perfil de absorção de umidade na umidade relativa de 98% dos filmes de quitosana produzidos a partir de soluções com diferentes concentrações de quitosana (g quitosana/100 mL de solução) e glicerol (g /g quitosana): (a) 1,0/0,09, (b) 3,0/0,09, (c) 1,0/0,51, (d) 3,0 / 0,51, (e) 0,6/0,30, (f) 3,4/0,30, (g) 2,0/0,00, (h) 2,0/0,60, (i) 2,0/0,30.

De maneira geral é possível observar que as amostras com maior concentração de quitosana apresentaram menor absorção de água, o que pode ser observado na tendência apresentada nos gráficos das Figuras 10 e 11 que demonstram efeito significativo negativo da concentração de quitosana na absorção de água em ambas %UR, ou seja um aumento na concentração de quitosana tende a reduzir a absorção de água pelas matrizes poliméricas. Essa mesma tendência foi observada para os conteúdos de umidade de equilíbrio dos filmes (condicionados a 52% UR), em que filmes com maior concentração de biopolímero apresentaram menores conteúdos de umidade. A concentração de glicerol (termo quadrático) apresentou efeito significativo na absorção de água dos filmes acondicionados em 98% UR, indicando que a relação entre as concentração de glicerol e a absorção de água nesta condição segue uma linha curva demonstrada pela Figura 11 b, tendendo a maiores valores de absorção de água com o aumento da concentração de glicerol, sobretudo em filmes com menor concentração de quitosana. Isso confirma o seu efeito plastificante tornando os filmes mais hidrofílicos (por aumentar a sua capacidade de interação com a água) e mais flexíveis conforme observado no aspecto visual.

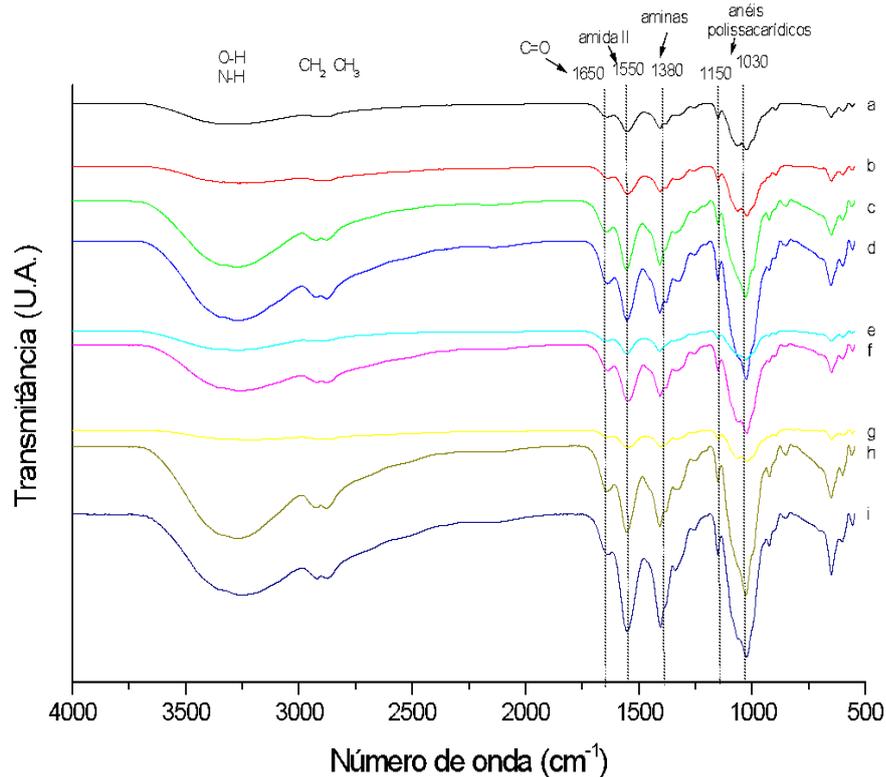


**Figura 10.** Gráfico de Pareto (a) e superfície de resposta (b) para o efeito das variáveis concentração de quitosana e concentração de glicerol na absorção de água a 75% UR dos filmes de quitosana (tempo final).



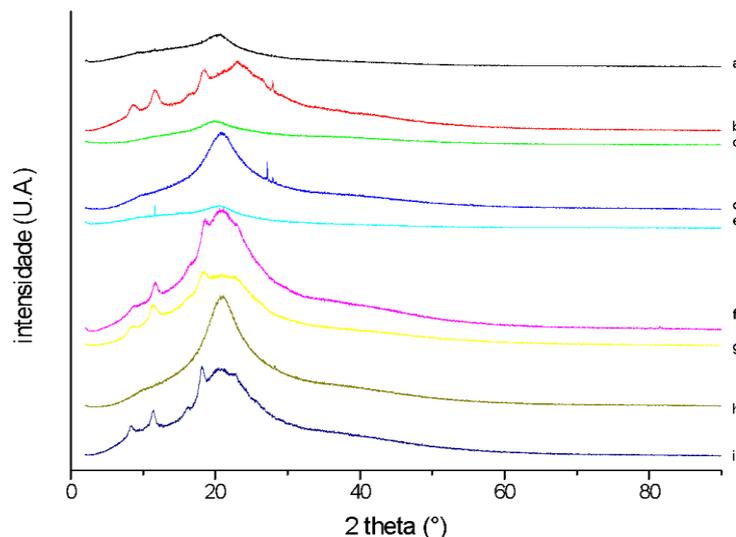
**Figura 11.** Gráfico de Pareto (a) e superfície de resposta (b) para o efeito das variáveis concentração de quitosana e concentração de glicerol na absorção de água a 98% UR dos filmes de quitosana (tempo final).

A Figura 12 mostra os espectros de FTIR dos filmes de quitosana. Como esperado, os filmes de quitosana apresentaram bandas de absorção características do biopolímero. As bandas em  $3270\text{ cm}^{-1}$  são atribuídas ao estiramento dos grupos  $\text{-OH}$  e ligações  $\text{N-H}$ , em  $2930\text{ cm}^{-1}$  e  $2870\text{ cm}^{-1}$  às ligações  $\text{C-H}$  nos grupos  $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$ , respectivamente. As amostras com maior concentração de glicerol apresentaram bandas mais acentuadas nesta região. As bandas em  $1650\text{ cm}^{-1}$  (amida I), em  $1550\text{ cm}^{-1}$  (amida II) e em  $1380\text{ cm}^{-1}$  (aminas) correspondem a vibração da ligação  $\text{C=O}$  dos grupos acetilados da quitosana, ao estiramento dos grupos  $\text{N-H}$  e a deformação das ligações  $\text{C-N}$  nos grupamentos amínicos, respectivamente. As bandas em  $1150\text{ cm}^{-1}$  e  $1030\text{ cm}^{-1}$  são atribuídas a estrutura polissacarídica incluindo as ligações glicosídicas, estiramentos dos grupos  $\text{C-O}$  e  $\text{C-O-C}$  (FRICK *et al.*, 2017).



**Figura 12.** Espectros de FTIR dos filmes de quitosana produzidos a partir de soluções com diferentes concentrações de quitosana (g quitosana/100 mL de solução) e glicerol (g/g quitosana): (a) 1,0/0,09, (b) 3,0/0,09, (c) 1,0/0,51, (d) 3,0 / 0,51, (e) 0,6/0,30, (f) 3,4/0,30, (g) 2,0/0,00, (h) 2,0/0,60, (i) 2,0/0,30.

A Figura 13 mostra os difratogramas dos filmes de quitosana produzidos com diferentes concentrações de quitosana e glicerol. É possível observar que todos os filmes apresentam estrutura tipicamente amorfa com um pico largo em torno de  $20^\circ$  ( $2\theta$ ), característico da quitosana. Cervera *et al.* (2004) destacam que a quitosana em pó geralmente apresenta estrutura cristalina com picos em torno de  $10^\circ$  ( $2\theta$ ) e  $20^\circ$  ( $2\theta$ ). Porém, o seu processamento para obtenção de filmes dá origem a estruturas amorfas independente do uso do plastificante, com diminuição da intensidade dos picos, sobretudo em  $10^\circ$  ( $2\theta$ ). A adição do glicerol tende a aumentar a natureza amorfa do biopolímero (PRATEEPCHANACHAI *et al.*, 2017). Por ser um agente plastificante, sua presença enfraquece as ligações intermoleculares da quitosana, diminuindo a cristalinidade da mesma (DALLAN, 2005).



**Figura 13.** Difratomogramas (DRX) dos filmes de quitosana produzidos a partir de soluções com diferentes concentrações de quitosana (g quitosana/100 mL de solução ) e glicerol (g /g quitosana): (a) 1,0/0,09, (b) 3,0/0,09, (c) 1,0/0,51, (d) 3,0 / 0,51, (e) 0,6/0,30, (f) 3,4/0,30, (g) 2,0/0,00, (h) 2,0/0,60, (i) 2,0/0,30.

Os resultados da caracterização dos filmes obtidos neste trabalho podem ser correlacionados com os obtidos por Zacharias (2022) que avaliou o efeito da aplicação das mesmas soluções de quitosana contendo glicerol no potencial fisiológico de sementes de milho. Esta autora observou que as sementes de milho recobertas com a formulação que continha a maior concentração de quitosana (3,4 g/100 mL) apresentaram redução no índice de velocidade de germinação, causando interferência em termos de vigor quando comparado às sementes sem recobrimento (controle). No presente trabalho, observou-se que esta formulação deu origem ao filme mais espesso e com menor interação com a água. Por outro lado, ainda no estudo de Zacharias (2022), as sementes tratadas com solução de quitosana na menor concentração testada (0,6 g/100 mL) apresentaram menor uniformidade do recobrimento e menor aderência na semente, corroborando com as características observadas nos filmes desta formulação (presente estudo), o quais foram muito finos e de difícil manuseabilidade. Assim, em termos de qualidade de recobrimento e manutenção do potencial fisiológico, as formulações consideradas mais promissoras são as que contem 2% m/v de quitosana e 0,30 g de glicerol/g quitosana, e a que contem 1% m/v de quitosana e 0,09 g de glicerol/g quitosana (ZACHARIAS, 2022).

### 5.3. Proposta de aplicação dos conceitos abordados no trabalho experimental no âmbito do ensino de química

Segundo Paulo Freire, a vivência escolar está ligada ao contexto político, abrangendo diversas proporções da realidade em que os alunos estão inseridos, seus agentes e os processos

de construção da realidade. Essa conexão se estende às interações entre culturas, conhecimentos, comportamentos, posicionamentos ético-políticos e práticas socioculturais da comunidade (SAUL; SILVA, 2011). Por exemplo, a poluição, o uso excessivo e o descarte incorreto de materiais plásticos são assuntos presentes na realidade dos estudantes e que também pode integrar conhecimentos específicos de química.

A presente pesquisa propôs a criação de uma sequência didática que segue os princípios do enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), visando sensibilizar os alunos sobre as complexidades envolvidas em temas controversos. Essa abordagem compreende três aspectos fundamentais: a exploração de questões socialmente relevantes, a integração de disciplinas diversas e a promoção da participação ampla em processos decisórios relacionados à Ciência e Tecnologia. O principal objetivo é reconhecer os efeitos dos assuntos abordados em sala de aula no dia a dia das pessoas e ponderar sobre a influência que esses aspectos exercem nas escolhas feitas pelos indivíduos dentro da sociedade.

Conforme abordam Méheut & Psillos (2004), na execução da sequência didática é importante que exista uma hierarquia flexível da sala de aula, que valorize as perspectivas dos alunos, de forma a estimular um ambiente investigativo que envolve discussões problematizadas pelos alunos. Para isso, sua preparação requer a análise prévia das perspectivas dos alunos e considera aspectos locais e sociais para estimular o ensino, buscando sempre a autonomia do estudante no processo. Dessa forma, Hodson (2018) propõe que tal educação deve ser composta por questões relacionadas primeiramente às questões que envolvem a localidade da escola e suas relações regionais, nacionais e globais, a fim de compreender quais os problemas políticos e éticos intensificam tais problemáticas.

Nesse sentido, a inserção do tema de biopolímeros nas aulas de discussão de problemáticas ambientais, possibilita aos alunos aprenderem sobre as diferentes estruturas, propriedades, processos de degradação/biodegradação e preparo de soluções, ou seja, temas presentes no currículo estudantil, ao mesmo tempo que é possível problematizar situações como uso excessivo e descarte incorreto de plásticos no ambiente. Para Sousa (2016) e Lima (2013), esses conceitos podem ser discutidos em sala de aula a partir da produção de um filme biodegradável.

Dessa maneira, uma sequência didática (Quadro 1) foi elaborada e executada em uma turma de 2º ano de ensino médio, durante a aula de química em uma escola pública de Araras-SP, aplicando os conceitos práticos abordados neste trabalho.

### Quadro 1: Proposta de sequência didática para disciplina de Química.

	<b>UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS</b> <b>CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS</b> <b>DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA, MATEMÁTICA E EDUCAÇÃO</b> <b>ESTÁGIO SUPERVISIONADO EM QUÍMICA 3</b>											
<b>PLANO DE ENSINO - BIOPOLÍMEROS</b>												
<b>1. IDENTIFICAÇÃO</b>												
<b>Professora:</b> Isabella Barbosa	<b>Disciplina / Público Alvo:</b> Química / 2º ano do ensino médio	<b>Tema:</b> Química Ambiental: O que são biopolímeros?	<b>Data/hora:</b> XX / XX / XXXX  2 horas/aula (90 minutos)									
<b>2. PLANO</b>												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 45%;">OBJETIVOS</th> <th style="width: 20%;">CONTEÚDOS</th> <th style="width: 20%;">RECURSOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <b>G</b> <b>E</b> <b>R</b> <b>A</b> <b>L</b> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aplicar os conceitos dos Biopolímeros, suas principais características e aplicações.</li> </ul> </td> <td rowspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Química ambiental;</li> <li>✓ Ligações químicas;</li> <li>✓ Transformações químicas;</li> <li>✓ Preparo de soluções.</li> </ul> </td> <td rowspan="2"> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Materiais plásticos sintéticos e biodegradáveis;</li> <li>✓ Projetor multimídia;</li> <li>✓ Quadro branco.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <b>E</b> <b>S</b> <b>P</b> <b>E</b> <b>C</b> <b>Í</b> <b>F</b> <b>I</b> <b>C</b> <b>O</b> <b>S</b> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Problematizar o uso e descarte incorreto de polímeros sintéticos;</li> <li>✓ Promover conscientização sobre o uso racional de plásticos;</li> <li>✓ Despertar a curiosidade sobre os polímeros biodegradáveis e sua aplicabilidade;</li> <li>✓ Exemplificar o uso dos biopolímeros dentro da agricultura a partir do meu projeto de conclusão de curso;</li> <li>✓ Aplicar os conhecimentos no dia-a-dia.</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>				OBJETIVOS	CONTEÚDOS	RECURSOS	<b>G</b> <b>E</b> <b>R</b> <b>A</b> <b>L</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aplicar os conceitos dos Biopolímeros, suas principais características e aplicações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Química ambiental;</li> <li>✓ Ligações químicas;</li> <li>✓ Transformações químicas;</li> <li>✓ Preparo de soluções.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Materiais plásticos sintéticos e biodegradáveis;</li> <li>✓ Projetor multimídia;</li> <li>✓ Quadro branco.</li> </ul>	<b>E</b> <b>S</b> <b>P</b> <b>E</b> <b>C</b> <b>Í</b> <b>F</b> <b>I</b> <b>C</b> <b>O</b> <b>S</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Problematizar o uso e descarte incorreto de polímeros sintéticos;</li> <li>✓ Promover conscientização sobre o uso racional de plásticos;</li> <li>✓ Despertar a curiosidade sobre os polímeros biodegradáveis e sua aplicabilidade;</li> <li>✓ Exemplificar o uso dos biopolímeros dentro da agricultura a partir do meu projeto de conclusão de curso;</li> <li>✓ Aplicar os conhecimentos no dia-a-dia.</li> </ul>
	OBJETIVOS	CONTEÚDOS	RECURSOS									
<b>G</b> <b>E</b> <b>R</b> <b>A</b> <b>L</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aplicar os conceitos dos Biopolímeros, suas principais características e aplicações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Química ambiental;</li> <li>✓ Ligações químicas;</li> <li>✓ Transformações químicas;</li> <li>✓ Preparo de soluções.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Materiais plásticos sintéticos e biodegradáveis;</li> <li>✓ Projetor multimídia;</li> <li>✓ Quadro branco.</li> </ul>									
<b>E</b> <b>S</b> <b>P</b> <b>E</b> <b>C</b> <b>Í</b> <b>F</b> <b>I</b> <b>C</b> <b>O</b> <b>S</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Problematizar o uso e descarte incorreto de polímeros sintéticos;</li> <li>✓ Promover conscientização sobre o uso racional de plásticos;</li> <li>✓ Despertar a curiosidade sobre os polímeros biodegradáveis e sua aplicabilidade;</li> <li>✓ Exemplificar o uso dos biopolímeros dentro da agricultura a partir do meu projeto de conclusão de curso;</li> <li>✓ Aplicar os conhecimentos no dia-a-dia.</li> </ul>											
<b>3. PROCEDIMENTOS</b>												
<b>INTRODUÇÃO</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Inicialmente, na aula 1, os alunos receberão amostras de plásticos sintéticos (sacolas de mercado, embalagens de alimentos e frascos de cosméticos) e serão divididos em grupos para pesquisarem o tempo de decomposição desses materiais. O intuito é que os mesmos percebam o lento tempo de degradação dos plásticos e reflitam sobre possíveis estratégias para resolver esse problema.</li> </ul>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Aula 1</b> Após a reflexão, serão apresentados alguns questionamentos aos discentes, onde os mesmos poderão construir o seu conhecimento utilizando conceitos químicos sobre ligações e transformações químicas juntamente com o professor:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ O que é um polímero?</li> <li>○ Onde podem ser encontrados?</li> <li>○ Qual o seu tempo de degradação na natureza?</li> <li>○ Quais suas implicações ao meio ambiente?</li> </ul> </li> <li>✓ <b>Aula 2</b> O assunto dos polímeros biodegradáveis será abordado, com base no artigo "Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos" do Química Nova, seguindo a seguinte linha de raciocínio:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ O que são polímeros biodegradáveis (Ou biopolímeros)?</li> <li>○ Como são produzidos?</li> <li>○ Para que fins podem ser utilizados?</li> </ul>               Após, serão apresentados os filmes biopoliméricos confeccionados pela professora durante sua pesquisa na Universidade, abordando assim, conceitos sobre preparo de soluções.             </li> </ul>	<b>CONCLUSÃO</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Finalizando a Aula 2, os alunos serão levados a refletir sobre os conhecimentos adquiridos previamente, escrevendo em uma folha em tópicos quais os conceitos mais importantes aprendidos com a aula teórica.</li> </ul>										
<b>4. AVALIAÇÃO</b>												
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A partir das aulas e de suas anotações prévias, como tarefa de casa, será proposto que os alunos escrevam uma redação sintetizando todo o conteúdo aprendido durante essa sequência didática, bem como suas reflexões e posicionamentos a partir da metodologia atribuída a mesma.</li> </ul>												
<b>5. INDICAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS</b>												
FRANCHETTI, S.M.M.; MARCONATO, J.C. Polímeros biodegradáveis-uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. <b>Química Nova</b> , p. 811-816, 2006.												

## 6. CONCLUSÃO

Em geral, as formulações desenvolvidas apresentaram estrutura polimérica contínua, homogênea e flexível. Porém, os filmes com maior concentração de quitosana apresentaram melhor manuseabilidade. As espessuras médias dos filmes variaram de 0,038 a 0,121 mm, sendo que esta propriedade tendeu a aumentar com o aumento da concentração de biopolímero.

A adição do agente glicerol nos filmes tornou as matrizes mais flexíveis e homogêneas, porém tendeu a aumentar a PVA (que variou de 5,80 a 17,24 g.mm/m<sup>2</sup>.dia.kPa) e a umidade (que variou de 14,66 a 31,15 g H<sub>2</sub>O/100 g filme). Além disso, o glicerol alterou as propriedades dos filmes, apresentando uma acentuação nas bandas de absorção nos espectros de FTIR e aumento na natureza amorfa do biopolímero observado na análise de DRX.

Os resultados demonstram boas perspectivas para aplicação das formulações de quitosana no recobrimento de sementes. Propõem-se também novos estudos relacionados, visando novas faixas de estudo, e a aplicação dos filmes em sementes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKTER, J. *et al.* Chitosan for plant growth promotion and disease suppression against anthracnose in chilli. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, v. 3, n. 3, p. 806-817, 2018.

ALVES, A. C. L. **Blendas de amido e quitosana plastificadas com solventes eutéticos profundos**. 2023. 143 p. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18158/tde-21082023-142029/publico/TeseAlvesAnaClaraLCorrig.pdf>. Acesso em Fev 2024.

ANBUKARASU, P.; SAUVAGEAU, D.; ELIAS, A. Tuning the properties of polyhydroxybutyrate films using acetic acid as solvent casting. **Scientific Reports** **5**, 17884 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep17884>

ARVANITTOYANNIS, I.; NAKAYAMA, A.; AIBA, S. Chitosan and gelatin based edible films: state diagrams, mechanical and permeation properties. **Carbohydrate Polymers**, v.37, p. 371-382, 1998.

ASTM. **Standard test methods of water vapor transmission of materials**. E96-95. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1995b.

BANDOPADHYAY, S. *et al.* Biodegradable plastic mulch films: Impacts on soil microbial communities and ecosystem functions. **Frontiers in microbiology**, v. 9, p. 819, 2018.

BARROS, T.D. **Glicerol**. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Agroenergia, p. 1, 2021.

BÉGIN, A.; Van CALSTEREN, M.R. Antimicrobial films produced from chitosan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.26, p.63-67, 1999.

BRITO, G. F. *et al.* Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6.2, p. 127-139, 2011.

BRUGNEROTTO, J. *et al.* An infrared investigation in relation with chitin and chitosan characterization. **Polymer**, v. 42, p. 3569-3580, 2001.

BUKZEM, A. L.; dos SANTOS, D. M.; ASCHERI, D. P. R. Filmes Biodegradáveis a base de fécula de mandioca e bagaço de cevada obtidos por extrusão termoplástica. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 3, n. 2, p. 89-107, 2012.

CANELLA, K.M.N.C.; GARCIA, R.B. Caracterização de quitosana por cromatografia de permeação em gel – influência do método de preparação e do solvente. **Química Nova**, v.24, n.1, p. 13-17, 2001.

CERVERA, M. F. *et al.* (2004). Solid-state and mechanical properties of aqueous chitosan-amylose starch films plasticized with polyols. **Aaps Pharmscitech**, v.5, n.1, p. 109-114, 2004.

CHANDRIKA, K. S. V. P.; PRASAD, R. D.; GODBOLE, V. Development of chitosan-PEG blended films using Trichoderma: enhancement of antimicrobial activity and seed quality. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 126, p. 282-290, 2019.

CHEN, M-C.; YEH, G.H-C.; CHIANG, B-H. Antimicrobial and physicochemical properties of methylcellulose and chitosan films containing a preservative. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.20, p. 379-390, 1996.

COMA, V. *et al.* Edible Antimicrobial Films Based on Chitosan Matrix. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, 2002.

CUQ, B. *et al.* Functional properties of myofibrillar protein-based biopackaging as affected by film thickness. **Journal of food science**, v. 61, n. 3, p. 580-584, 1996.

DALLAN, P. R. M. **Síntese e caracterização de membranas de quitosana para aplicação na regeneração de pele**. 2005. p. 119. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1601254>. Acesso em Fev 2024.

DA SILVA FILHO, J.N.F., *et al.* Estudo do revestimento polimérico de quitosana x tempo de armazenamento de sementes de girassol orgânicas (*Helianthus Annus L.*). **Brazilian Journal of Development** [online]. v. 7, n. 1, p. 5908-5918, 2020. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23246/18672>>. Acesso em Mai 2021. Epub 14 Jan 2021. ISSN 2525-8761.

DA SILVA, M. A. **Desenvolvimento e caracterização de filmes compostos de alginato e quitosana contendo natamicina como agente antimicótico**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2009.

DEBEAUFORT, F.; QUEZADA-GALLO, J.A.; VOILLEY, A. Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. **Critical Reviews in Food Science**, v. 38, n. 4, p. 299- 313, 1998.

DESCHAMPS, A. Edible Antimicrobial Films Based on Chitosan Matrix. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, 2002.

DUHAN, J.S. *et al.* Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. **Biotechnology Reports**, v. 15, p. 11–23, 2017.

FIORI, A. P. S. M. *et al.*, Preparação e Caracterização de Nanocompósitos Poliméricos Baseados em Quitosana e Argilo Minerais. **Polímeros**, v. 24, n. 5, p. 628-635, 2014.

FRANCHETTI, S.M.M.; MARCONATO, J.C. Polímeros biodegradáveis-uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, p. 811-816, 2006.

FRICK, J.M. *et al.* Influence of glutaraldehyde crosslinking and alkaline post-treatment on the properties of chitosan-based films. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n.7, p. 2748–2757, 2017.

GARCIA, M.A. *et al.* Characterization of composite hydrocolloid films. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 339-345, 2004.

GONSALVES, A.A. *et al.* DIFERENTES ESTRATÉGIAS PARA A RETICULAÇÃO DE QUITOSANA. **Quim. Nova**, v. 34, n. 7, p. 1215-1223, 2011.

HAN, J.H., GENNADIOS, A. **Edible films and coatings: a review**. Ed. HAN, J. H. In: *Innovations in Food Packaging*. San Diego: Elsevier Academic Press, p. 239-262, 2005.

HEMANTARANJAN, A. *et al.* A future perspective in crop protection: chitosan and its oligosaccharides. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 1. n. 1, 2014.

HODSON, D. Realçando o papel da ética e da política na educação científica: algumas considerações teóricas e práticas sobre questões sociocientíficas. In: CONRADO, D.M.; NUNES-NETO, N. (Orgs.) **Questões sociocientíficas: fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas**. Salvador: Edufba, 2018, p. 27-57.

KASHYAP, P. L.; XIANG, X.; HEIDEN, P. Chitosan nanoparticle-based delivery systems for sustainable agriculture. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 77, p. 36–51, 2015.

KESTER, J.J., FENNEMA, O.R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, v. 40, n.12, p. 47-59, 1986.

KHURI, A. I.; CORNELL, J. A. *Response surface design and analyses*. New York: Marcel Dekker Inc., 1987.

KROCHTA, J.M., DE MULDER-JOHNSTON, C. Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities, **Food Technology**, v.51, n.2, p. 61–74, 1997.

KUMAR, S.; *et al.* Chitosan nanocomposite coatings for food, paints and water treatment applications. **Applied Sciences**, v. 9, n. 2, 2409, 2019.

KUMAR, S.; MUKHERJEE, A.; DUTTA, J. Chitosan based nanocomposite films and coatings: emerging antimicrobial food packaging alternatives. **Trends in Food Science & Technology**, v. 97, p. 196-209, 2020.

LIMA, J.O.G. Do período colonial aos nossos dias: uma breve história do Ensino de Química no Brasil. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 12, n. 140, p. 71-79, 2013.

LIMA, Y.C.; BONILLA, O.H.; LUCENA, E.M.P. Use of chitosan in agriculture: a review with an emphasis on seed application. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, e39911225782, 2022.

LIU, Z.; HAN, J.H. Film-forming Characteristics of Starches. **Journal of food Science**, n. 1, v. 70, p. 31-36, 2005.

LÓPEZ-CABALLERO, M.E. *et al.* A chitosan–gelatin blend as a coating for fish patties. **Food Hydrocolloids**, v.19, p. 303-311, 2005.

MACHADO, M.L.Q. *et al.* **SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE BIOFILME À BASE DE QUITOSANA E GLICEROL**. Universidade Federal do Pampa, 60º Congresso Brasileiro de Química (CBQ), 2021. Disponível em: <<https://www.abq.org.br/cbq/2021/trabalhos/9/24117-28812.html>>. Acesso em 4 Dez 2023.

MACHADO, R. R. L. **Influência do processamento nas propriedades dos filmes de poliuretano impregnados com óleo de copaíba**. 14º Congresso da Sociedade Latino Americana de Biomateriais, Órgãos Artificiais e Engenharia de Tecidos. p. 703-712, 2017.

MARINIELLO, L. *et al.* Preparation and mechanical properties of edible pectin-soy flour films obtained in the absence or presence of transglutaminase. **Journal of Biotechnology**, v. 102, p. 191-198, 2003.

MÉHEUT, Martine; PSILLOS, Dimitris. Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515-535, 2004.

MILANI, P. *et al.* Polymers and its applications in agriculture. **Polímeros**, v. 27, n. 3, p. 256-266, 2017.

MOURA, C.M.D. *et al.* Quitina e quitosana produzidas a partir de resíduos de camarão e siri: avaliação do processo em escala piloto. **VETOR - Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, v. 16,1, p. 37–45, 2007.

OLIVEIRA, A.F. *et al.* Preparação, caracterização e propriedades de filmes poliméricos com potencial aplicação no recobrimento de sementes. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1845-1849, 2009a.

OTONI, C.G. *et al.* Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 5, p. 1151-1169, 2017.

PARK, S.Y. *et al.* Biopolymer composite films based on k-carrageenan and chitosan. **Materials Research Bulletin**, v. 36, p. 511-519, 2001.

PIRES, A.L.R.; BIERHALZ, A.C.K.; MORAES, A.M. Biomateriais: tipos, aplicações e mercado. **Química Nova**, v. 38, n. 7, p. 957-971, 2015.

PRATEEPCHANACHAI, S. *et al.* Mechanical properties improvement of chitosan films via the use of plasticizer, charge modifying agent and film solution homogenization. **Carbohydrate Polymers**, v.174, p. 253–261, 2017.

RASOULZADEHZALI, M.; NAMAZI, H. Facile preparation of antibacterial chitosan/graphene oxide-Ag bio-nanocomposite hydrogel beads for controlled release of doxorubicin. **International journal of biological macromolecules**, v. 116, p. 54-63, 2018

RHIM, J.W. Physical and mechanical properties of water resistant sodium alginate films. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 37, n. 3, p. 323-330, 2004.

ROCHA, B. B. *et al.* **Determinação do grau de desacetilação de amostras de quitosana.** Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas, UFPEL, RS, 2014.

RODRIGUES, L.O. *et al.* Chitosan biofilm production, reduced from chitin, extracted from exoskeleton of crustaceans: proposal and sustainable availability. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 1, p. 218-239, 2020.

RUTIAGA, M. O. *et al.* Mechanical property and biodegradability of cast films prepared from blends of oppositely charged biopolymers. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 13, p. 185-191, 2005.

SANDER, M. Biodegradation of Polymeric Mulch Films in Agricultural Soils: Concepts, Knowledge Gaps, and Future Research Directions. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 5, p. 2304-2315, 2019.

SÃO PAULO. **Currículo paulista 2022.** Habilidades Ciências da Natureza e suas Tecnologias, 1ª e 2ª série do ensino médio, São Paulo, 2022.

SAUL, A. M.; SILVA, A. F. G. **O pensamento de Paulo Freire como referência para o desenvolvimento de políticas de currículo.** In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE POLÍTICA PÚBLICA E ADMINISTRAÇÃO DA EDUCAÇÃO, 25. e CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE POLÍTICA E ADMINISTRAÇÃO DA EDUCAÇÃO, 2., 2011, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ANPAE, 2011. p. 1-13.

SCARSI, M. **DESEMPENHO DE SEMENTES DE SOJA REVESTIDAS COM BIOPOLÍMEROS.** Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco - PR, 2015.

SHU, X.Z.; ZHU, K.J.; SONG, W. Novel pH-sensitive citrate cross-linked chitosan film for drug controlled release. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 212, n. 1, p. 19–28, 5 2001.

SHUKLA, S.K. *et al.* Chitosan-based nanomaterials: A state-of-the-art review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 59, p. 46–58, 2013.

SILVA, C. V. **Impregnação/deposição de agentes bioativos em curativos poliméricos usando CO<sub>2</sub> supercrítico.** Tese (doutorado em Engenharia Industrial). Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2018.

SOUSA, G.L.; SIMÕES, A.S.M. Uma Proposta de Aula Experimental de Química para o Ensino Básico Utilizando Bioensaios com Grãos de Feijão (*Phaseolus vulgaris*). **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 1, p. 79-83, 2016.

STATSOFT, INC. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)

TANADA-PALMU, P.S. *et al.* Recobrimento de sementes de brócolos e salsa com coberturas e filmes biodegradáveis. **Bragantia** [online]. v. 64, n. 2, p. 291-297, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000200016>>. Acesso em 29 Mai 2021. Epub 09 Jan 2006. ISSN 1678-4499.

THARANATHAN, R.N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, n. 3, p. 71-78, 2003.

ZACHARIAS, M.B. **POTENCIAL FISIOLÓGICO E SANIDADE DE SEMENTES DE MILHO REVESTIDAS COM QUITOSANA.** Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras-SP, 2022.

ZACHARIAS, M.B. *et al.* 2022. Revestimento de sementes de milho com quitosana e biomassa microalgal. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, vol. 12, e12225. <https://doi.org/10.4322/2359-6643.12225>

ZENG, D.; MEI, X.; WU, J. Study and preparation of an environmentally friendly corn seed coating agent. **Journal of Plant Protection Research**, v. 50, n. 2, p. 210-214, 2010.

ZIMAN, J. **Teaching and learning about science and society**. Cambridge: First Published. Cambridge, 1980. 95 p.