



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CAMPUS BLUMENAU**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**LUIZA GABRIELA SCHLÜTER**

**Estudo da adsorção de corantes catiônicos por hidrogéis a base de  
alginato/carragenanas**

**BLUMENAU**

**2022**

# **Estudo da adsorção de corantes catiônicos por hidrogéis a base de alginato/carragenanas**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Licenciatura em Química do Campus de Blumenau da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientador: Prof. Dr. Ismael Casagrande Bellettini

Coorientadora: Prof. Dra. Graziela Piccoli Richetti

**BLUMENAU**

**2022**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Schlüter, Luiza Gabriela

Estudo da adsorção de corantes catiônicos por hidrogéis a base de alginato/carragenanas / Luiza Gabriela Schlüter ; orientador, Ismael Casagrande Bellettini, coorientador, Graziela Piccoli Richetti , 2022.

59 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, , Graduação em , Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. . 2. Hidrogel alginato/carragenana. 3. Isoterma de adsorção. 4. Cinética de adsorção. 5. Corantes catiônicos.. I. Casagrande Bellettini, Ismael . II. Piccoli Richetti , Graziela . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em . IV. Título.

Luiza Gabriela Schlüter

Estudo da adsorção de corantes catiônicos por hidrogéis a base de alginato/carragenanas

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título  
Licenciada em Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Licenciatura em  
Química

Blumenau, 14 de dezembro de 2022.

Coordenação do Curso

**Banca examinadora**

Prof. Dr. Ismael Casagrande Bellettini  
Orientador

Prof.(a) Dr.(a) Patrícia Bulegon Brondani  
UFSC

Prof.(a) Dr.(a) Larissa Nardini Carli  
UFSC

Blumenau, 2022.

Dedico este trabalho para meus pais, Dalcio e Margarete. Sem vocês eu nada seria.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Dalcio e Margarete por todo apoio e confiança depositados em mim nos últimos anos. Este trabalho e a trajetória da graduação não faria sentido se eu não tivesse vocês do meu lado. Obrigada por serem minha maior inspiração e fonte de força durante os últimos anos, especialmente nos meses que antecederam este trabalho. Juntos sempre venceremos todos os obstáculos.

Ao meu orientador Ismael, pela oportunidade de realizar a Iniciação Científica desde o 2º semestre da graduação. Sou grata por todo o conhecimento compartilhado comigo nos últimos anos, pela força e motivação diária e por ser o responsável por toda minha evolução nesta caminhada científica. Obrigada por acreditar em mim e por me fazer acreditar em mim também. Minha gratidão por tudo o que você fez por mim é imensurável.

À minha coorientadora, Graziela, por me fazer amar o Ensino de Química e mostrar como ele pode transformar a vida das pessoas. Obrigada por ser calmária nos momentos de tensão e de nervosismo.

Ao meu namorado, João Vítor, que me ajudou a controlar minha ansiedade durante este período e que me faz enxergar diariamente os pontos positivos da vida. Obrigada por me acalmar, me incentivar a escrever e me ajudar nas tarefas cotidianas que ficaram quase impossíveis de serem realizadas nos últimos meses.

Aos meus amigos de turma, amigos fora da graduação e especialmente os amigos e colegas do Lab B113, por me animarem diariamente, pela ajuda na resolução de vários problemas e por não me deixarem desistir.

À minha cunhada, Ana Luísa, que apesar de ser Mestre em Direito, busca entender a minha pesquisa para sair contando e explicando para seus colegas. Seu apoio e entusiasmo me alegram.

À UFSC, pela estrutura e pelo conhecimento de qualidade e gratuito.

Aos demais professores do curso de Licenciatura em Química. Obrigada por todos os conhecimentos transmitidos e por tudo o que me ensinaram nos últimos anos, cada um tem um lugar especial no meu coração.

## RESUMO

Corantes são substâncias visualmente detectáveis que podem causar sérios problemas se descartados incorretamente em rios, lagos e mares, mesmo quando presentes em pequenas quantidades. Eles podem induzir efeitos carcinogênicos e/ou mutagênicos, além de inibir a fotossíntese e atrapalhar a cadeia alimentar. Entre os vários tipos de tratamento, a adsorção tem sido cada vez mais estudada como técnica para remoção de corantes em solução aquosa, devido ao baixo custo e fácil preparação. Materiais como os hidrogéis que apresentam redes poliméricas com propriedades hidrofílicas amplamente são utilizados para essa função. Os polissacarídeos ganham destaque na formação de hidrogéis pela fácil reticulação e formação dos mesmos. Através das isotermas de Langmuir e Freundlich e modelos cinéticos de pseudoprimeira ordem e pseudosegunda ordem é possível acompanhar a efetividade de adsorção de corantes em soluções aquosas pelos hidrogéis. Este trabalho tem como objetivo investigar a formação de hidrogéis preparados com iota-carragenana e alginato de sódio e kappa-carragenana com alginato de sódio, com proporção 2,5% (m/v) sendo 2,0% correspondente ao alginato e 0,5% das carragenanas em cada hidrogel, para adsorção dos corantes violeta genciana (VG) e azul de metileno (AM) em solução aquosa e tampão acetato (pH 5,0). Os hidrogéis foram caracterizados por infravermelho e os espectros mostraram bandas características de cada polímero utilizado. A porcentagem de intumescimento variou de 100% em água deionizada até 2.900% em tampão. O modelo cinético de pseudosegunda ordem foi o que mais se ajustou aos sistemas estudados, melhor valor de  $R^2$ . As isotermas estudadas mostraram que a adsorção dos corantes foi favorável com valores do fator de separação menores do que 1. Os valores de  $Q_{\text{máx}}$  obtidos pelas isotermas foram de 41,88 mg/g a 84,82 mg/g para o corante VG e de 33,58 mg/g a 281,72 mg/g para o corante AM.

**Palavras-chave:** Hidrogel alginato/carragenana, isoterma de adsorção, cinética de adsorção, corantes catiônicos.

## ABSTRACT

Dyes are visually detectable substances that can cause serious problems if accidentally discarded in rivers, lakes and seas, even when present in small amounts. They can induce carcinogenic and/or mutagenic effects, in addition to inhibiting photosynthesis and disrupting the food chain. Among the various types of treatment, adsorption using adsorbent materials has been increasingly studied as a technique for removing dyes from an aqueous solution, due to its low cost and easy preparation. Materials such as hydrogels that have polymeric networks with hydrophilic properties are widely used for this function. Polysaccharides stand out in the formation of hydrogels due to their easy crosslinking and formation. Using the Langmuir and Freundlich isotherms and pseudo-first order and pseudo-second order kinetic models, it is possible to follow the evolution of the adsorption of dyes in aqueous solutions by hydrogels. This work aims to investigate the formation of hydrogels prepared with iota-carrageenan and sodium alginate and kappa-carrageenan with sodium alginate, with a proportion of 2.5% (w/v) with 2.0% corresponding to the alginate and 0.5% of the carrageenans in each hydrogel, for the adsorption of dyes gentian violet (VG) and methylene blue (AM) in aqueous solution and an aqueous solution of pH 5.0. The hydrogels were characterized by infrared and the spectra evaluated the characteristic bands of each used polymer. Percent swelling ranges from 100% in deionized water to 2900% at pH 5.0. The pseudo-second order kinetic model was the one that best fitted the studied systems, with the best  $R^2$  value. The isotherms studied showed that the adsorption of the dyes was favorable with separation factor values lower than 1. The  $Q_{max}$  values obtained by the isotherms ranged from 41.88 mg/g to 84.82 mg/g for the VG dye and 33.58 mg/g to 281.72 mg/g for AM dye.

**Keywords:** Alginate/carrageenan hydrogel, adsorption isotherm, adsorption kinetics, cationic dyes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estruturas químicas da a) $\kappa$ -carragenana, b) $\iota$ -carragenana e c) $\lambda$ -carragenana	19
Figura 2. Estrutura química do alginato de sódio	20
Figura 3. Estrutura química do corante Violeta Genciana	21
Figura 4. Estruturas do corante violeta genciana a) pH = 1; b) pH = 2; c) pH = 7 e d) fortemente alcalino.	22
Figura 5. Estrutura do corante azul de metileno	23
Figura 6. Esquema de preparação dos hidrogéis.	29
Figura 7. Hidrogéis a) após reticulação e b) secos	31
Figura 8. Dupla rede do hidrogel formado.	32
Figura 9. Espectros de infravermelho dos hidrogéis K-AS e I-AS	33
Figura 10. Tamanho dos hidrogéis secos e após 300 min submersos em água deionizada e pH 5,0, a 25°C.	35
Figura 11. Modelos cinéticos linearizados de a) pseudoprimeira ordem para VG b) pseudosegunda ordem para VG c) pseudoprimeira ordem para AM e d) pseudosegunda ordem para AM, a 25°C	40
Figura 12. Porcentagem de remoção de corante VG para os hidrogéis de $\kappa$ -carragenana/ $\iota$ -carragenana em a) pH 5 e b) água deionizada	43
Figura 13. Porcentagem de remoção de corante AM para os hidrogéis de $\kappa$ -carragenana/ $\iota$ -carragenana em a) pH 5 e b) água deionizada.	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentrações dos corantes em pH 5,0 e em água deionizada a 25 °C.....	31
Tabela 2. Massas finais e iniciais dos hidrogéis após 300 min submersos em tampão acetato em pH 5,0 e água deionizada, a 25°C.....	34
Tabela 3. Teste de remoção com diferentes massas de hidrogel para os corantes estudados em tampão acetato em pH 5,0 e água deionizada, a 25°C. ....	36
Tabela 4. Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich do corante Violeta Genciana nos hidrogéis.....	37
Tabela 5. Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich do corante Azul de Metileno nos hidrogéis. ....	38
Tabela 6. Parâmetros cinéticos para adsorção de VG, a 25°C. ....	41
Tabela 7. Parâmetros cinéticos para adsorção de AM, a 25°C.....	42
Tabela 8. Comparação entre as capacidades máximas de adsorção de alguns materiais e melhor ajuste de modelo cinético. ....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM - Azul de Metileno

I-AS - hidrogel de ι-carragenana/alginato de sódio

K-AS - hidrogel de κ-carragenana/alginato de sódio

$K_f$  - constante de Freundlich

$K_L$  - constante de Langmuir

pH - Potencial hidrogeniônico

$q_e$ : Quantidade de corante adsorvido por grama de hidrogel no equilíbrio

$Q_{máx}$ : Quantidade máxima de corante adsorvido por grama de hidrogel

$q_t$ : Quantidade de corante adsorvido por grama de hidrogel no tempo t

$R_t$  – Fator de separação

VG - Violeta Genciana

ι-carragenana - iota carragenana

κ-carragenana - kappa-carragenana

λ-carragenana - lambda carragenana

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1. OBJETIVOS .....	15
<b>1.1.1. Objetivo Geral</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1. HIDROGÉIS .....	16
2.2. POLÍMEROS UTILIZADOS .....	17
<b>2.2.1. Carragenanas</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.2. Alginato de Sódio</b> .....	<b>19</b>
2.3. CORANTES .....	20
<b>2.3.1. Violeta Genciana</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3.2. Azul de Metileno</b> .....	<b>23</b>
2.4. PROCESSO DE ADSORÇÃO .....	23
2.5. ISOTERMAS DE ADSORÇÃO .....	24
<b>2.5.1. Isotermas de Langmuir</b> .....	<b>25</b>
<b>2.5.2. Isoterma de Freundlich</b> .....	<b>26</b>
2.6. OS MODELOS CINÉTICOS .....	26
<b>2.6.1. Modelo cinético de pseudoprimeira ordem</b> .....	<b>27</b>
<b>2.6.2. Modelo cinético de pseudosegunda ordem</b> .....	<b>27</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	28
3.1. MATERIAIS .....	28
3.2. MÉTODOS .....	28
<b>3.2.1. Preparação dos hidrogéis</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.2. Teste de intumescimento (ou inchaço)</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.3. Teste de eficiência</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.4. Teste de Adsorção</b> .....	<b>30</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	31
4.1. FORMAÇÃO DOS HIDROGÉIS .....	31
<b>4.1.1. Caracterização do material por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier por Refletância Total Atenuada (ATR-IR)</b> .....	<b>33</b>
4.2. INTUMESCIMENTO .....	34
4.3. TESTE DE EFICIÊNCIA .....	35

4.4. ISOTERMAS DE ADSORÇÃO .....	36
4.5. MODELOS CINÉTICOS .....	39
4.6. REMOÇÃO DO CORANTE .....	42
4.7. COMPARAÇÃO COM A LITERATURA .....	45
4.8. MATERIAL DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA.....	46
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
REFERÊNCIAS .....	50
ANEXO 1 – Curvas de calibração.....	56
ANEXO 2 – Material de Divulgação Científica.....	58

## 1. INTRODUÇÃO

Corantes são substâncias orgânicas que possuem a característica de serem coloridas e/ou fluorescentes, podendo ser de origem natural ou sintética, tendo a propriedade de alterar a cor de diversos materiais pela absorção seletiva da luz. Muitas indústrias químicas, como as farmacêuticas, têxteis, plásticas e de couro utilizam diversos tipos de corantes em suas produções. Normalmente, esses processos industriais descarregam 30 a 40% dos corantes que permanecem nas águas residuais (LIU; OMER; OUYANG, 2017).

Quando os corantes são descartados sem tratamento em água são considerados poluentes orgânicos. Efluentes com corantes podem ser perigosos pois causam a redução da penetração da luz solar, inibindo a fotossíntese e interferindo na cadeia alimentar. Ademais, muitos podem apresentar efeitos cancerígenos e mutagênicos devido aos seus produtos de degradação (NAYAK, et al, 2021).

Diferentes técnicas, incluindo troca iônica, degradação por microrganismos, fotoquímica, coagulação química, separação por membrana e adsorção foram estudados e desenvolvidos para remoção de corantes em meio aquoso. Dentre os métodos citados, evidencia-se o método de adsorção por questões relacionadas a sua simplicidade de execução, eficácia e baixo custo (SHIRSATH, et al, 2015).

Muitos materiais adsorventes vêm sendo estudados para remover as substâncias indesejadas em meio aquoso, como estruturas orgânico-metálicas, argilas lamelares, grafite, e materiais poliméricos, como os hidrogéis. Estes são redes poliméricas com propriedades hidrofílicas amplamente utilizados para essa função. Eles apresentam uma grande capacidade de expansão e bom desempenho de adsorção, além de serem facilmente separados do meio após o processo de adsorção (DUMAN et al, 2020).

Polissacarídeos como o alginato de sódio, a celulose e as carragenanas são utilizados em uma variedade de aplicações, incluindo a produção de hidrogéis devido a algumas características importantes, como a abundância na natureza, baixa toxicidade, biodegradabilidade, hidrofílicidade e propriedade de adsorção (LAPWANIT; SOOKSIMUANG; TRAKULSUJARITCHOK, 2018). As carragenanas são polissacarídeos naturais que podem ser extraídos de algas marinhas. Este polímero natural pode ser reticulado ionicamente através de seus grupos sulfatos (ZIA et al, 2016). A mistura de carragenanas com outros polímeros funcionais pode produzir um

novo adsorvente melhorando as propriedades de adsorção. O alginato de sódio, por exemplo, é um polissacarídeo natural produzido por algas marrons que tem a capacidade de formar géis em reações com íons metálicos divalentes ou com outros reticulantes (LAPWANIT; SOOKSIMUANG; TRAKULSUJARITCHOK, 2018).

O alginato de sódio apresenta em sua estrutura grupos carboxila e hidroxila e a carragenana, por sua vez apresenta grupos sulfato e hidroxila. Em uma mistura com certa proporção de alginato de sódio e carragenana, em solução de cloreto de cálcio, ocorre um processo de reticulação entre os dois compostos formados e interação iônica e ligações de hidrogênio (ZIA et al, 2017).

A formação da dupla rede é um dos meios eficazes para aumentar a resistência mecânica dos hidrogéis. Estudos mostram que a capacidade de adsorção da rede dupla carragenana/alginato de sódio hidrogel formado por reticulação física é excelente (YU et al., 2019), podendo melhorar o desempenho dos hidrogéis.

Mediante a problemática do descarte de corantes em efluentes e tendo em vista a importância dos hidrogéis no processo de adsorção destes poluentes, este trabalho visa a produção de um hidrogel combinado com os polímeros alginato de sódio e carragenanas para adsorção de dois corantes (violeta genciana e azul de metileno).

Além disso, este trabalho se transformou em um material de divulgação científica para a comunidade estar ciente desta problemática e também conhecer as diferentes aplicações do material desenvolvido, visto que o ensino de Química vai muito além quando as informações do avanço da ciência e dos conhecimentos construídos em laboratório chegam ao público leigo, adquirindo, assim, uma função social que denota a importância da Química na vida das pessoas (SCHNETZLER; SOUZA, 2018).

## 1.1.OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Preparar hidrogéis a partir da mistura de polímeros naturais e estudar a adsorção de corantes em solução aquosa.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Preparar hidrogéis na forma de *beads* a base de alginato de sódio com  $\iota$ -carragenana e  $\kappa$ -carragenana;

- Avaliar os hidrogéis através de espectroscopia no infravermelho (IV);
- Estudar a cinética de adsorção dos corantes Violeta Genciana e Azul de Metileno através de espectrofotometria de Ultravioleta Visível (UV-Vis);
- Avaliar a capacidade de intumescimento dos hidrogéis em água e em pH 5,0;
- Elaborar um material de divulgação científica acerca do tema do projeto.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. HIDROGÉIS**

Ao longo dos anos, os pesquisadores trouxeram diferentes definições para o hidrogel. A mais comum vista é que hidrogéis podem ser descritos como sistemas de redes tridimensionais de cadeias de polímero que são reticuladas, sendo preenchido o espaço entre as macromoléculas geralmente com água. Outra definição é que é um material polimérico que apresenta a capacidade de inchar e reter uma fração significativa de água dentro de sua estrutura, sem se dissolver no meio. (AHMED, 2013). A estrutura de reticulação torna esses géis insolúveis e mantém a sua estrutura, sendo a pressão osmótica responsável com que o inchaço atinja o volume de equilíbrio. Eles podem variar o volume devido a diferentes solventes, pH, temperatura e concentração de sais (YU, et al. 2019)

O método de absorção de água num hidrogel pode descrito da seguinte forma: assim que um hidrogel seco inicia o seu processo de absorção de água, as primeiras moléculas por ele absorvidas irão hidratar as moléculas mais polares da estrutura polimérica, levando a um primeiro tipo de ligação da água com as moléculas do polímero. Conforme o restante dos grupos sendo hidratados, ocorre o aumento de volume da estrutura polimérica, até ocorrer a exposição das moléculas que estão presentes no interior da matriz polimérica. (ALMEIDA, 2010). No entanto, os géis poliméricos tradicionais podem apresentar problema ao inchar em uma solução aquosa, não sendo suficientemente estáveis e apresentando propriedades mecânicas inferiores do que o desejado (YANG, et al, 2022). Visando obter melhores resultados, vêm sendo desenvolvidos diversos estudos sobre hidrogéis de dupla rede. Este tipo de material possui boa permeabilidade à água e apresenta boa expansibilidade, facilitando o acesso de outras moléculas (XU, et al. 2015).

Os hidrogéis podem ser preparados de diversas formas químicas. Estas incluem procedimentos de uma etapa, como polimerização e reticulação paralela de monômeros multifuncionais, bem como procedimentos de várias etapas envolvendo a modificação de um polímero com grupos reativos e sua reticulação subsequente. Em geral, os hidrogéis podem ser preparados a partir de qualquer polímero sintético ou polímeros naturais. Ainda, podem ser classificados de acordo com: a composição polimérica; a configuração (amorfo, semicristalino ou cristalino); o tipo de reticulação; a aparência física (microesferas, filmes) e a carga elétrica da rede (AHMED, 2013).

Diversas aplicações podem ser dadas aos hidrogéis, que variam desde produtos de higiene, agricultura, medicamentos, sistemas de entrega e curativos até a separação de moléculas (AHMED, 2013). Atualmente, existem diversos materiais que podem ser utilizados como base para a produção de um hidrogel. No entanto, muitas pesquisas demonstram um grande interesse na produção de hidrogéis a partir de polissacarídeos, caracterizados pela ocorrência uma repetição da sua unidade estrutural, um sacarídeo, ligada entre si através de ligações glicosídicas (ALMEIDA, 2010). Por conta da elevada hidrofiliabilidade, e a forma fácil que é produzir um hidrogel a partir de polissacarídeos, diversos estudos têm feito destes materiais a preparação de hidrogéis com fins biomédicos, liberação de fármacos e adsorção de poluentes em meio aquoso (KOZLOWSKA; PAUTE; SIONKOWSKA, 2018).

## 2.2.POLÍMEROS UTILIZADOS

### 2.2.1. Carragenanas

As algas marinhas possuem em sua parede celular uma grande quantidade de polissacarídeos. Os polissacarídeos derivados de alga estão ganhando atratividade devido à sua sustentabilidade, disponibilidade e estrutura química. São uma ampla classe de biopolímeros que são derivados de algas marrons, como alginatos, e vermelhas, como carragenanas. As carragenanas e os alginatos têm algumas propriedades específicas interessantes e atuam como agentes espessantes e gelificantes e possuem algumas atividades biológicas (antivirais, imunoinflamatórias e anticoagulantes). São usados principalmente na indústria farmacêutica, cosmética e alimentícia (YU, et al, 2019)

A carragenana é um polissacarídeo extraído de espécies de algas vermelhas da classe *Rhodophyceae*. Esse polímero é amplamente utilizado na indústria de alimentos e em produtos farmacêuticos que cobrem um amplo espectro de comportamentos reológicos, como agentes de gelificação, estabilização e de aumento de viscosidade (AZIZI; FARAHNAKY, 2016).

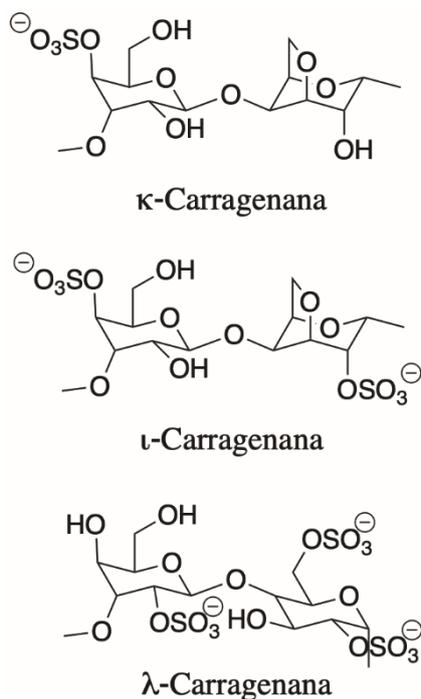
Diversas formas de sistemas à base de carragenanas são utilizados, especialmente para finalidades biomédicas. Elas podem formar grânulos, microcápsulas e microesferas que têm sido amplamente utilizadas para liberação de drogas ou proteínas devido à sua biocompatibilidade, biodegradabilidade, capacidade de formar gel e termo reversibilidade. A gelificação de  $\kappa$ -carragenana ocorre em duas etapas: na primeira etapa, a estrutura helicoidal é formada 80-90 °C, e o grupo sulfato de  $\kappa$ -carragenana é neutralizado por cátions como  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$  e  $\text{K}^{+}$ , na segunda etapa, a rede tridimensional é formado pela diminuição da temperatura para 50 °C. (SARIYER, et al. 2020).

A Carragenana compreende principalmente unidades de galactose de repetição e de 3,6-anidrogactose, sulfatadas e não sulfatadas, ligadas por alternância  $\alpha$ -(1-3) e  $\beta$ -(1-4) ligações glicosídicas (SASON; NUSSINOVITCH, 2018). Dependendo do número e da posição dos grupos sulfato, três principais carragenanas foram identificadas: iota ( $\iota$ ), kappa ( $\kappa$ ) e lambda ( $\lambda$ ) (Figura 1). Ambas as dispersões de  $\kappa$  e  $\iota$ -carragenana sofrem transição sol-gel após o resfriamento e adição de contra-íons tais como  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  (KOZLOWSKA; PAUTER; SIONKOWSKA, 2018).

A  $\kappa$ -carragenana é composta de  $\alpha$ (1-3)-D-galactose-4 sulfato e  $\beta$ (1-4)-3,6-anidro-D-galactose alternadas; a  $\iota$ -carragenana é composta por  $\alpha$ (1-3)-D-galactose-4 sulfato e  $\beta$ (1-4)-3,6,- anidro-D-galactose-2 sulfato alternadas e, a  $\lambda$ -carragenana é formada por  $\alpha$ (1-3)-D-galactose-2 sulfato e  $\beta$ (1-4)-D-galactose-2,6 sulfato alternadas (VOLODK'KO et al, 2014). A presença de grupos sulfato negativamente carregados no carragenana permite que esse polissacarídeo forme complexos de polieletrólitos com polímeros carregados positivamente como a quitosana (KONONOVA, 2018).

A kappa e a iota-carragenana apresentam propriedades muito parecidas. Estes polímeros naturais possuem a habilidade de formar géis termorreversíveis e em baixas temperaturas podem formar redes através dos grupos sulfato, exibindo propriedades de gelificação (ZIA, et al, 2017).

**Figura 1.** Estruturas químicas da a)  $\kappa$ -carragenana, b)  $\iota$ -carragenana e c)  $\lambda$ -carragenana



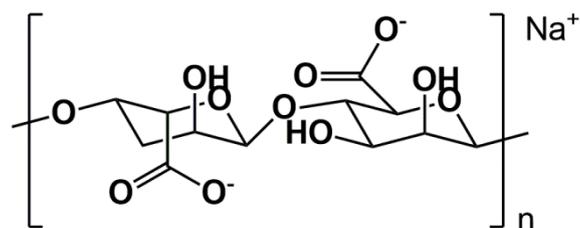
Fonte: Autoria Própria

### 2.2.2. Alginato de Sódio

Alginatos são materiais naturais extraídos de algas marrons. Eles podem formar complexos fortes com outros polieletrólitos naturais, como a pectina e as carragenanas. O alginato de sódio, devido à sua alta estabilidade, tem uma alta resistência, biocompatibilidade, apresenta propriedade de gelificação, hidrofiliabilidade e pode ser fabricado como um filme ou hidrogel (OLADIPO; GAZI, 2014).

Os alginatos, são sais de ácido alginico, um copolímero linear de ácido D-manurônico e L-gulurônico monômeros, dispostos em um padrão de blocos ao longo da cadeia, com regiões homopoliméricas de ácido manurônico e resíduos de ácido gulurônico intercalados com regiões de sequências alternadas (Figura 2). Filmes de alginato de sódio podem ser formados pela evaporação da água de um gel de alginato ou por um procedimento de duas etapas envolvendo a secagem da solução de alginato seguido por tratamento com uma solução de sal de cálcio para induzir a reticulação (PAULA, et al, 2015).

**Figura 2.** Estrutura química do alginato de sódio



Fonte: Aatoria Própria

Este material, no entanto, apresenta uma desvantagem, já que é facilmente degradado por perda dos íons divalentes, que, durante a preparação da solução, são solubilizados no meio aquoso (ALMEIDA, 2010).

### 2.3. CORANTES

O uso de corantes está presente desde os primórdios da civilização, em que a humanidade buscava tingir tecidos, objetos e até mesmo paredes em cavernas utilizando recursos naturais. Centenas de anos foram necessários para que fossem desenvolvidos corantes com mais eficiência e com maior qualidade para o tingimento. P. Woulfe em 1771 tratou índigo com ácido nítrico para obter ácido pícrico, que ocasionalmente foi empregado para tingir a seda de amarelo. Em 1834, Friedrich Runge, ao trabalhar com benzeno e tratando-o com cloreto de lima, notou que era formada uma coloração azul, que foi nomeada de cianol. Em 1856, W. H. Perkin em uma rota sintética, acabou por acaso produzindo o primeiro corante orgânico sintético de cor violeta. Depois de Perkin, demais químicos se interessaram pelo assunto e resolveram executar mais experimentos desenvolvendo mais corantes (ZANONINI; YAMANAKA, 2016).

Muitos corantes são produzidos em grande escala e são amplamente utilizados nas indústrias, como em tingimento de tecidos, coloração de alimentos, cosméticos, bactérias, plásticos e até mesmo como drogas terapêuticas (ZANONINI; YAMANAKA, 2016).

Os corantes são compostos químicos orgânicos que possuem a propriedade de absorver luz visível seletivamente devido aos grupos cromóforos, por este motivo que são coloridos. A cor desses compostos é intensificada e/ou modificada por grupos auxocromos, que podem acarretar um deslocamento no comprimento de onda de máxima absorção do composto. Ademais, a estabilidade da molécula do corante é

diretamente associada à força da ligação química dos átomos componentes dos grupos cromóforos e auxocromos (CARVALHO, 2010).

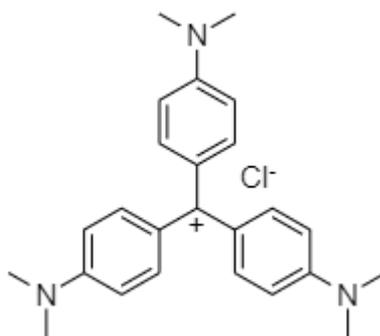
Os corantes podem ser classificados quanto à sua estrutura química (corantes azóico, nitro, ftalocianina, antraquinona, diazo, etc) e quanto à forma de fixação que ocorre entre o corante e a fibra em meio aquoso (corantes reativos, catiônicos, aniônicos, dispersos e diretos) (KHARAT, 2015).

Uma quantidade muito pequena de corante pode colorir a água, por isso quando liberados em corpos de água são considerados poluentes orgânicos. Por conta das características de mutagenicidade, carcinogenicidade e toxicidade, os contaminantes de corantes apresentam problemas ambientais significativos, bem como sérias ameaças à saúde humana e de outras espécies. Esses corantes geralmente possuem um derivado sintético e estrutura aromática complexa que os torna estáveis à luz, ao calor e aos agentes oxidantes (NAYAK; PAL, 2021).

### 2.3.1. Violeta Genciana

A Violeta Genciana (ou Violeta Cristal) é um exemplo de corante utilizado para diversas finalidades. Quando indicada, ela pode ser utilizada para tratar queimaduras e lesões de pele devido à sua propriedade antisséptica e antibacteriana (LIANG, 2019). É um corante catiônico empregado no tingimento de fibras acrílicas, papel e couro, na identificação de bactérias, como tratamento em lesões de pele e gengiva e como carimbo em cortes de carne. Apesar de amplamente utilizado, o corante é nocivo, podendo causar irritação moderada nos olhos e no trato digestivo (BAZZO, 2015).

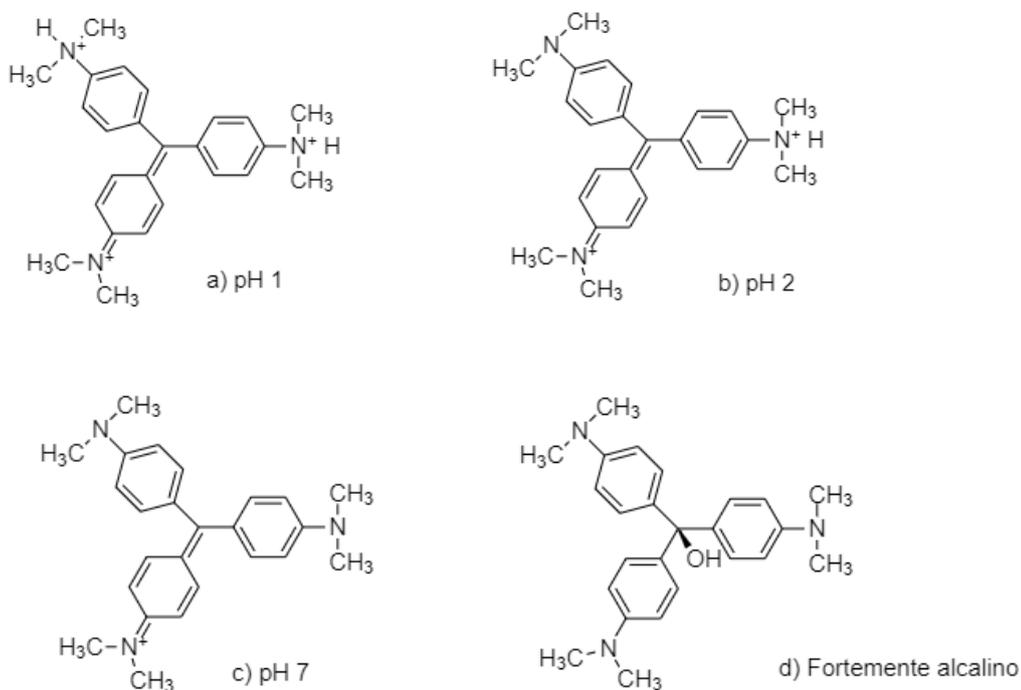
**Figura 3.** Estrutura química do corante Violeta Genciana



Fonte: Autoria própria, 2022

É um corante simétrico contendo 3 grupos arilas com grupo amino como substituintes. Os grupos amino estão conjugados com o anel aromático a eles ligado e, ainda possuem duas metilas ligadas ao nitrogênio. Devido a sua extensa conjugação, o corante em questão possui absorvância ( $\lambda_{\max}$ ) entre 589 nm e 630 nm, região visível. (CARVALHO, 2010). O corante apresenta diversos equilíbrios de protonação. Em valores de pH ácidos ( $\leq 1$ ) é possível notar uma coloração verde ( $pK_a = 1,15$ ) com absorvância máxima próxima de 620 nm e todos os três átomos de nitrogênio ficam carregados positivamente. Em valores de pH próximos de 2 ( $pK_a = 1,8$ ), um dos nitrogênios sofre desprotonação e a molécula fica com duas cargas positivas, apresentando uma coloração azulada com máximo de absorção em 595 nm. Quando o pH está próximo de 7 o corante tem cor violeta e um máximo de absorção em 589 nm. Neste último caso, todos os átomos de nitrogênio estão desprotonados. As estruturas cizadas em casa faixa de pH podem ser observadas na Figura 4 (SALGADO, 2016).

**Figura 4.** Estruturas do corante violeta genciana a) pH = 1; b) pH = 2; c) pH = 7 e d) fortemente alcalino.

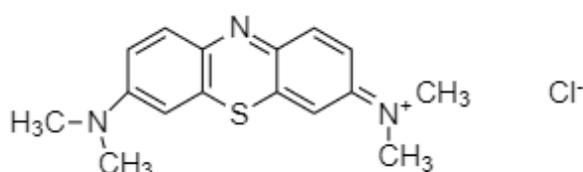


Fonte: Adaptado de Salgado, 2016.

### 2.3.2. Azul de Metileno

O azul de metileno (AM) tem sido amplamente utilizado em estudos de adsorção como um modelo de corante catiônico devido à sua forma planar (Figura 5). (LIU; OMER; OUYANG, 2017). É um dos corantes catiônicos sintéticos mais utilizados em indústrias têxteis, cosméticas de papel e de impressão devido à sua alta solubilidade e estabilidade em água (SAFARZADEH et al., 2022).

**Figura 5.** Estrutura do corante azul de metileno



O AM pode existir na forma de monômero em soluções aquosas de concentração inferior a  $1 \times 10^{-5}$  mol/L e em outras concentrações pode apresentar-se em mais três formas: o monômero protonado, o dímero, e o trímero. Na sua forma de monômero, o AM apresenta uma banda em 664 nm no espectro visível, dessa forma, é possível acompanhar sua remoção e em meio aquoso altamente ácido o AM exibe também uma banda com máximo em 765 nm, que é atribuída aos monômeros protonados do corante (BERGMANN; KONSKI, 1963).

A exposição prolongada a este corante pode causar vômitos, náuseas, anemia, hipertensão, insuficiência respiratória, lesões oculares, queimaduras locais e aumento. Portanto, é importante eliminar este contaminante de fluxos de águas residuais industriais. (SAFARZADEH et al., 2022)

## 2.4. PROCESSO DE ADSORÇÃO

A adsorção é considerada um processo em que um ou mais analitos são transferidos de um meio para uma superfície. O adsorvato é assim denominado pois é a espécie que está sendo transferida à superfície. Já esta superfície que adsorve o adsorvato é chamada de adsorvente. A adsorção sólido-líquido é um dos processos mais utilizados, visto que alguns sólidos possuem um grande potencial de concentrar em sua superfície os contaminantes presentes no meio (BAZZO, 2015).

As moléculas dos contaminantes são adsorvidas pela superfície vazia do adsorvente e essa adsorção pode ser classificada quanto a sua origem: física ou química (ATKINS, 2018).

A fisissorção caracteriza-se por atrações intermoleculares entre sítios de energia favoráveis, independentemente das propriedades eletrônicas das moléculas envolvidas. Já na quimissorção há troca de elétrons entre sítios específicos na superfície da molécula e do soluto, resultando em ligações químicas (ROUQUEROL; ROUQUEROL; SING, 2013).

Os dados de adsorção são comumente representados por uma isoterma de adsorção que mostra a relação de equilíbrio entre a quantidade do material adsorvido e a concentração na fase fluida em temperatura constante, assim como permite determinar a forma como o adsorvato interage com o adsorvente e calcular alguns parâmetros que descrevem o comportamento de adsorção para diferentes sistemas (DABROWSKI, 2001).

## 2.5.ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

As isotermas de adsorção são caracterizadas por expressarem a quantidade (mg) de adsorvato removido da fase aquosa por unidade de massa do adsorvente (g) (BAZZO, 2015). Elas representam os dados de adsorção e mostram a relação de equilíbrio entre a quantidade do material adsorvido e a concentração na fase fluida em uma dada temperatura (SALGADO, 2016).

É de suma importância elaborar as isotermas para a escolha do material que será utilizado, visto que elas descrevem a forma que o adsorvato interage com o adsorvente, como também é possível utilizá-las para o cálculo de alguns parâmetros que descrevem o comportamento de adsorção para diferentes sistemas (BAZZO, 2015).

Diversos modelos são utilizados na literatura para descrever os dados experimentais das isotermas de adsorção. Os mais comumente utilizados são os de Langmuir e Freundlich, cujas equações podem ser linearizadas, fazendo com que as constantes possam ser determinadas por regressão linear (CARVALHO, 2010).

### 2.5.1. Isotermas de Langmuir

O modelo de isoterma de Langmuir baseia-se na proposição de que a interação entre adsorvente e adsorvato forma uma monocamada, em que os adsorvatos são quimicamente adsorvidos por um número fixo de sítios ativos, e que cada sítio ativo pode reter apenas uma espécie, não interagindo entre si. Ademais, define-se que todos os sítios são energeticamente equivalentes (SALGADO, 2016). Sua expressão matemática é dada pela Equação 1:

$$Q_e = \frac{Q_{max}K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que  $Q_e$  é a quantidade de adsorvato adsorvido por unidade de massa de adsorvente no equilíbrio (mg/g),  $Q_{max}$  é a capacidade de cobertura da monocamada (mg/g),  $K_L$  é a constante de equilíbrio (L/mg) relacionada com a afinidade entre o adsorvato e o adsorvente e  $C_e$  é a concentração de equilíbrio do adsorvato na solução (mg/L) (ATKINS, 2018).

As constantes  $Q_{max}$  e  $K_L$  são características da equação de Langmuir e são determinadas a partir da expressão linear dada pela Equação (2):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_{m\acute{a}x}K_L} + \frac{C_e}{Q_{m\acute{a}x}} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que  $C_e$  é a concentração do adsorvato adsorvido no tempo de equilíbrio (mg/L),  $q_e$  é a quantidade de adsorvato adsorvido no tempo de equilíbrio (mg/g) e  $Q_{max}$  (mg/g) e  $K_L$  (L/mg) são constantes relacionadas com a capacidade de adsorção máxima e a energia de adsorção, respectivamente. O gráfico linear de  $C_e/q_e$  vs  $C_e$  confirma a validade do modelo de Langmuir do processo (CARVALHO, 2010). Apesar de ter algumas limitações, a Equação de Langmuir pode se ajustar razoavelmente bem aos dados experimentais de muitos sistemas de adsorção (SALGADO, 2016).

Por meio da Equação 3, foi possível calcular o fator de separação ( $R_L$ ) que faz relação da constante de Langmuir ( $K_L$ ) com o valor de  $Q_{max}$ :

$$R_L = + 1/[1 + (K_L \times Q_{m\acute{a}x})] \quad (\text{Equação 3})$$

Segundo Lapwanit *et al.* (2018) o valor de  $R_L$  fornece informações relacionadas à afinidade de adsorção que pode ser considerada irreversível ( $R_L = 0$ ), favorável ( $0 < R_L < 1$ ), linear ( $R_L = 1$ ) ou desfavorável ( $R_L > 1$ ).

### 2.5.2. Isoterma de Freundlich

O modelo de Freundlich é usado para descrever o equilíbrio em superfícies heterogêneas onde os sítios de adsorção são energeticamente diferentes. São consideradas as interações entre as moléculas adsorvidas e as que se encontram em solução permitindo a formação de multicamadas de adsorvato na superfície do adsorvente. Neste modelo é considerada uma distribuição logarítmica dos sítios ativos, sendo favorecida quando as moléculas do adsorvato não interagem entre si (SALES, 2013), sendo representado pela Equação 4:

$$Q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (\text{Equação 4})$$

A forma linear da isoterma de Freundlich é dada pela Equação 5:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (\text{Equação 5})$$

em que  $C_e$  (mg/L) e  $Q_e$  (mg/g) são, respectivamente, a concentração de equilíbrio do adsorvato na solução e a quantidade de adsorvato adsorvido por unidade de massa de adsorvente no equilíbrio,  $1/n$  representa a intensidade da adsorção e  $K_F$ , a constante de Freundlich (mg/g)(L/mg). Quanto maior o  $K_F$ , maior é a capacidade de adsorção do adsorvente (CARVALHO, 2010). Além disso, valores entre 0 e 1 de  $1/n$  podem demonstrar se o processo de adsorção é favorável (SUSZEK et al, 2013)

## 2.6.OS MODELOS CINÉTICOS

O estudo da cinética de adsorção é importante pois fornece algumas informações sobre a eficácia do processo de adsorção, como a predição da taxa à qual ocorre a adsorção.

Ao realizar uma análise cinética da adsorção, alguns fatores devem se levar em conta, como as características físico-químicas do adsorvente, definidas pela estrutura e

tamanho dos poros; as características do adsorvato, associadas ao peso molecular, solubilidade, carga iônica e natureza; e os aspectos da solução, que incluem as análises de pH, temperatura e concentração da solução (SALES, 2013)

Os modelos cinéticos têm o papel de investigar os mecanismos de adsorção e as etapas limitantes do processo adsorvativo (BAZZO, 2015). Os modelos cinéticos focados neste trabalho foram pseudoprimeira ordem, pseudosegunda ordem.

### 2.6.1. Modelo cinético de pseudoprimeira ordem

Segundo Lagergren (1898), a velocidade de adsorção pode ser determinada por uma expressão baseada na capacidade de adsorção do sólido, partindo do princípio de que a velocidade de remoção do adsorvato em relação ao tempo é diretamente proporcional à diferença na concentração de saturação e ao número de sítios ativos do sólido. O modelo é representado pela Equação 5:

$$q_t = q_e[1 - e^{-(k_1 t)}] \quad (\text{Equação 5})$$

Em que  $k_1$  ( $\text{min}^{-1}$ ) é a constante de velocidade para a equação de primeira ordem,  $Q_t$  e  $Q_e$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) são a quantidade de adsorvato adsorvido por unidade de massa de adsorvente em um determinado tempo ( $t$ ) e no equilíbrio, respectivamente (SALGADO, 2016).

A forma linearizada do modelo de pseudo-primeira ordem é apresentada na Equação 6:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (\text{Equação 6})$$

Onde  $q_e$  é a quantidade de corante adsorvida no equilíbrio,  $\text{mg/g}$ ,  $q_t$  é a quantidade adsorvida no tempo  $t$  ( $\text{mg/g}$ ), e  $k_1$  é a constante de velocidade ( $\text{min}^{-1}$ ). O gráfico de  $\ln(q_e - q_t)$  contra  $t$  é usado para testar esse modelo (LIU; OMER; OUYANG, 2017).

### 2.6.2. Modelo cinético de pseudosegunda ordem

Em 1999 foi proposto por Ho e McKay o mecanismo de pseudosegunda ordem. Este descreve que a cinética de adsorção depende da quantidade de sítios de adsorção

contidos na superfície do material adsorvente. A equação proposta por este modelo é descrita na Equação 7.

$$q_t = \frac{K_2 q_e^2 t}{1 + q_e t K_2} \quad (\text{Equação 7})$$

Em que,  $k_2$  (g/mg min) é a constante de velocidade para a equação de segunda ordem,  $Q_t$  e  $Q_e$  (mg/g) são a quantidade de adsorvato adsorvido por unidade de massa de adsorvente em um tempo ( $t$ ) e no equilíbrio, respectivamente.

A equação deste modelo cinético pode ser escrita também da seguinte forma:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad \text{Equação (8)}$$

Através da equação rearranjada, a forma linear é obtida como (LIU; OMER; OUYANG, 2017):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad \text{Equação (9)}$$

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. MATERIAIS

Os polímeros utilizados como a  $\kappa$ -carragenana, a  $\iota$ -carragenana e o alginato de sódio foram obtidos da Sigma-Aldrich. O cloreto de cálcio foi obtido da Anidrol. A violeta genciana utilizada é da marca Needs. Azul de metileno foi obtido da Neon. Para o preparo da solução-tampão, foi utilizado o acetato de sódio da marca Neon e o ácido acético glacial da Lafan. Em todo o procedimento foi utilizada água deionizada.

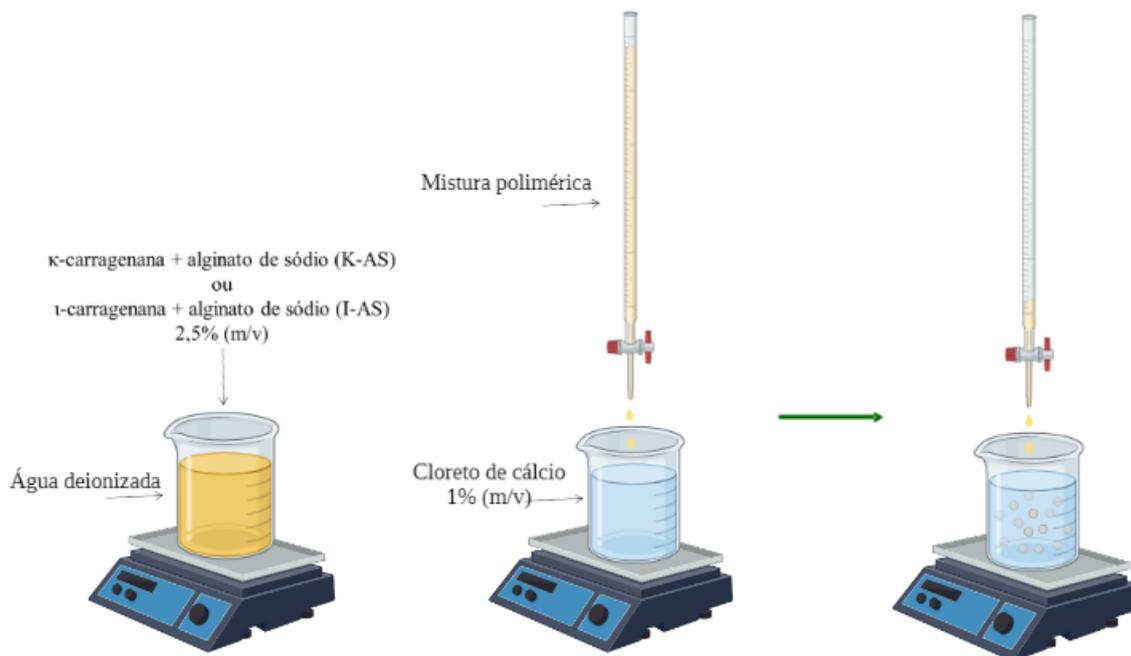
#### 3.2. MÉTODOS

##### 3.2.1. Preparação dos hidrogéis

Os hidrogéis foram preparados através da adaptação da metodologia de Yu e colaboradores. Dois hidrogéis diferentes foram preparados, um com  $\kappa$ -carragenana e alginato de sódio (K-AS) e outro de  $\iota$ -carragenana e alginato de sódio (I-AS) de forma que a proporção massa volume (m/v) das misturas dos polímeros fosse 2,5%. Para o

primeiro, foi utilizado 0,50 g de  $\kappa$ -carragenana, 2,0 g de alginato de sódio e 100 mL de água deionizada. A mistura foi deixada sob agitação a uma temperatura de 50°C por aproximadamente 2h. O procedimento e as quantidades foram iguais para o hidrogel de  $\iota$ -carragenana e alginato de sódio. Após esse tempo, as misturas foram retiradas do aquecimento até atingirem a temperatura ambiente. Foi também preparada uma solução de cloreto de cálcio 1% (m/v) para a reticulação dos hidrogéis. Após as misturas atingirem a temperatura ambiente, foram lentamente gotejadas com o auxílio de uma bureta (Figura 6). Ambos hidrogéis permaneceram na solução reticulante por 24h. Após esse tempo, os hidrogéis foram retirados da solução e lavados com água deionizada. Foram postos em placas de petri para secagem em temperatura ambiente. Após secas, as esferas de hidrogel foram submetidas à caracterização por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier por Refletância Total Atenuada (ATR-IR) e aos testes de adsorção.

**Figura 6.** Esquema de preparação dos hidrogéis.



Fonte: Autoria Própria

### 3.2.2. Teste de intumescimento (ou inchaço)

Para o teste de intumescimento ou inchaço, cinco hidrogéis secos de cada tipo foram pesados inicialmente e posteriormente mergulhados em tampão acetato (pH 5,0) e em água deionizada (pH ~ 6,0). O experimento foi feito em triplicata e a massa foi aferida inicialmente após 30 min, depois a cada 60 min, até completar 300 min.

A porcentagem de intumescimento pode ser calculada através da Equação 10:

$$I\% = \frac{W_e - W_o}{W_o} \times 100 \quad (\text{Equação 10})$$

Em que  $W_o$  é a massa inicial dos hidrogéis secos e  $W_e$  é a massa após inchados.

### 3.2.3. Teste de eficiência

Para determinar a quantidade ideal de hidrogel para construção das isotermas, foi estudada a eficiência de remoção dos corantes em função da composição do hidrogel, do meio (água ou tampão) e da massa de hidrogel. A adsorção foi realizada em 4 mL de solução de  $2,94 \times 10^{-6}$  mol/L de VG e  $9,8 \times 10^{-7}$  mol/L de AM, variando a quantidade de hidrogel em 30, 50, 80 e 100 mg. A porcentagem de remoção foi calculada através da Equação (11):

$$R(\%) = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100 \quad (\text{Equação 11})$$

em que  $C_o$  é a concentração inicial concentração de AM ou VG e  $C_t$  é a concentração final dos corantes após 5h de teste.

### 3.2.4. Teste de Adsorção

A solução estoque dos corantes (Violeta Genciana e Azul de Metileno) foram preparadas na concentração de  $4,9 \times 10^{-5}$  mol/L. As curvas de calibração foram construídas a partir de dez concentrações diferentes para cada corante, nos dois diferentes meios (água e tampão) para posteriormente serem utilizadas para determinar a quantidade de corante que foi adsorvido pelo hidrogel. Para acompanhar a eficiência de adsorção do corante por cada tipo de hidrogel, foi adicionada a massa determinada pelo teste de eficiência que apresentou maior porcentagem de remoção, com as concentrações de corante descritas na Tabela 1. A adsorção do corante VG foi acompanhada por espectrofotometria de UV-Vis no comprimento de onda 580 nm e do AM no comprimento de onda de 664 nm durante um período de 9h.

**Tabela 1.** Concentrações dos corantes em pH 5,0 e em água deionizada a 25 °C.

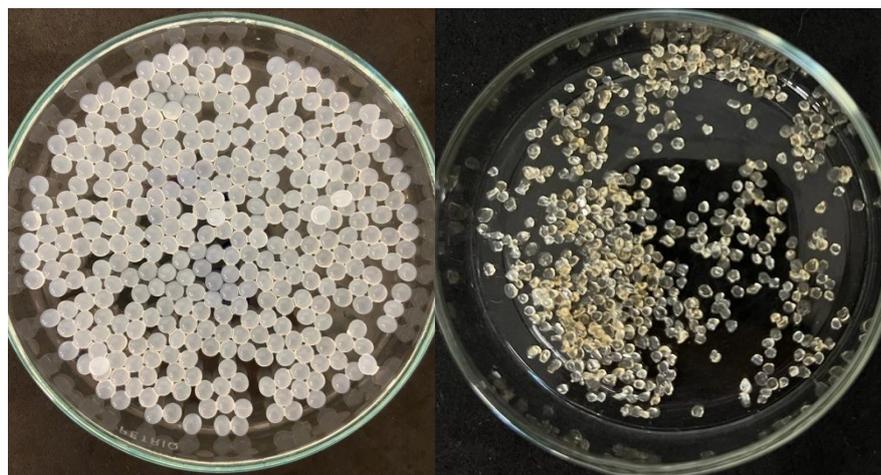
Frasco	Concentração VG (mol/L)	Concentração AM (mol/L)
1	$4,41 \times 10^{-6}$	$1,22 \times 10^{-6}$
2	$3,92 \times 10^{-6}$	$1,10 \times 10^{-6}$
3	$2,94 \times 10^{-6}$	$9,80 \times 10^{-7}$
4	$2,45 \times 10^{-6}$	$7,40 \times 10^{-7}$
5	$1,47 \times 10^{-6}$	$4,90 \times 10^{-7}$
6	$9,80 \times 10^{-7}$	$3,70 \times 10^{-7}$

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

##### 4.1. FORMAÇÃO DOS HIDROGÉIS

As soluções dos polímeros foram preparadas com as concentrações estabelecidas na metodologia. Após, a solução contendo a mistura dos polímeros foi gotejada lentamente em uma solução de cloreto de cálcio 1% (m/v), nesse momento ocorre o processo de reticulação e a formação dos “beads”, os hidrogéis em forma de esferas (Figura 7).

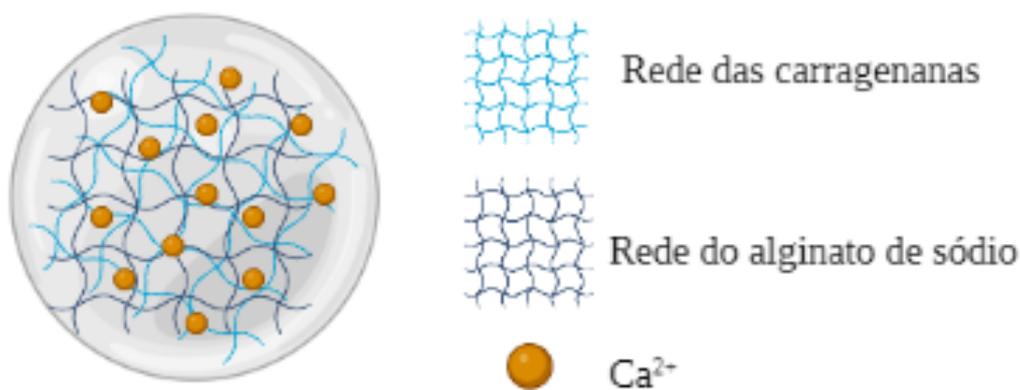
**Figura 7.** Hidrogéis a) após reticulação e b) secos



Fonte: Autoria Própria

O processo de formação de redes pode ser analisado separadamente com cada um dos polissacarídeos utilizados. Por exemplo, o alginato de sódio se reticula com  $\text{Ca}^{2+}$  de acordo com o modelo caixa de ovo. O hidrogel possui um alto teor de grupos carboxila em sua estrutura e possui alta afinidade por cátions bivalentes. Já a carragenana pode ser reticulada de forma que o cátion atue como uma “cola” intermolecular, fazendo interação eletrostática com os grupos sulfatos, formando uma ponte. Desta forma, ao utilizar uma mistura destes polímeros há a formação de um hidrogel de dupla rede, em que as cadeias de cada um estejam unidas permanentemente de forma física, como um “emaranhado” (Figura 8).

**Figura 8.** Dupla rede do hidrogel formado.



Fonte: Autoria Própria

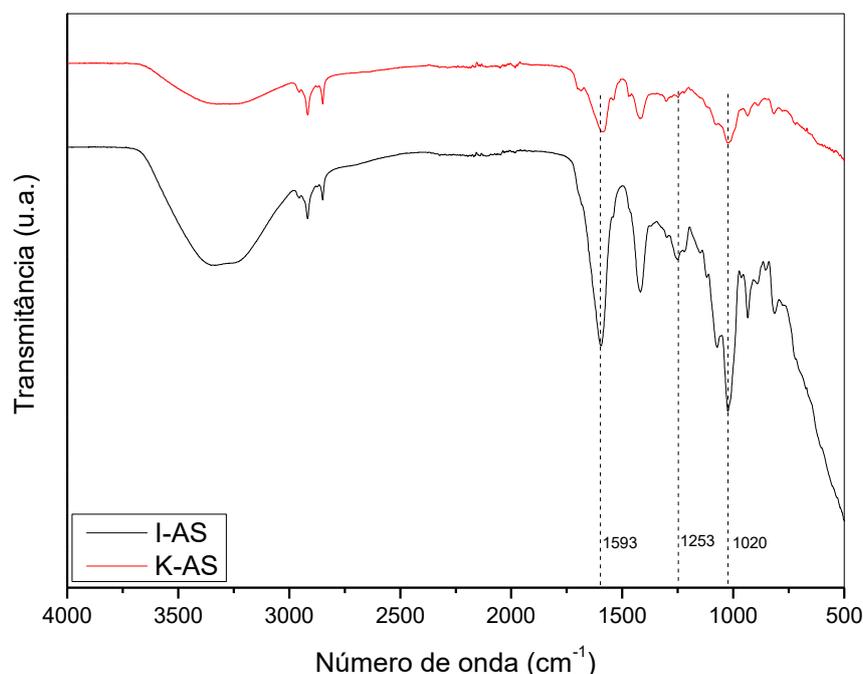
O alginato de sódio tem um papel importante ao formar uma rede com a carragenana, pois os materiais se reticulam através de ligações de hidrogênio e interação iônica com os íons  $\text{Ca}^{2+}$ . Esta rede mantém uma forma relativamente estável e diminui o espaço intermolecular entre alginato de sódio e a carragenana, tornando a rede cada vez mais compacta e mais resistente. O grupo sulfato tende a ionizar facilmente e tem baixa sensibilidade à solução salina, que é o principal para a composição de hidrogéis à base de carragenana. (YU, et al, 2019) O alginato de sódio tem uma forte resistência a ácidos.

#### 4.1.1. Caracterização do material por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier por Refletância Total Atenuada (ATR-IR)

A caracterização dos hidrogéis foi feita por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier por Refletância Total Atenuada (ATR-IR). A Figura 9 mostra os espectros de infravermelho dos hidrogéis K-AS que mostraram uma banda de absorção em 3100–3500  $\text{cm}^{-1}$  atribuídos às vibrações de estiramento O-H. Em 1593  $\text{cm}^{-1}$  existe uma banda atribuída à ligação C=O e em 1020  $\text{cm}^{-1}$  correspondentes à ligação glicosídica C-O. Observa-se uma banda em 1411  $\text{cm}^{-1}$  devido à simetria de estiramento dos grupos -COOH. Ainda, observa-se uma pequena banda em aproximadamente 1250  $\text{cm}^{-1}$  referente aos grupos sulfato da  $\kappa$ -carragenana.

A Figura 9 ainda mostra os espectros de infravermelho dos hidrogéis I-AS. As bandas apresentadas no espectro são semelhantes ao do hidrogel de  $\kappa$ -carragenana/alginato de sódio. Em 3372  $\text{cm}^{-1}$  referentes a -OH, em 1593  $\text{cm}^{-1}$  é atribuído à ligação C=O. Além disso, atribui-se em 1254  $\text{cm}^{-1}$  uma banda referente aos grupos sulfato presentes nas carragenanas. No hidrogel com a  $\kappa$ -carragenana essa banda não é tão visível por conter um grupo sulfato a menos que a  $\iota$ -carragenana.

**Figura 9.** Espectros de infravermelho dos hidrogéis K-AS e I-AS



Fonte: Autoria Própria

## 4.2.INTUMESCIMENTO

A Tabela 2 apresenta as massas iniciais dos hidrogéis e as massas finais após submersos 300 min em tampão acetato e em água deionizada. A partir desses valores foi possível calcular a porcentagem de intumescimento de cada hidrogel.

**Tabela 2.** Massas finais e iniciais dos hidrogéis após 300 min submersos em tampão acetato em pH 5,0 e água deionizada, a 25°C.

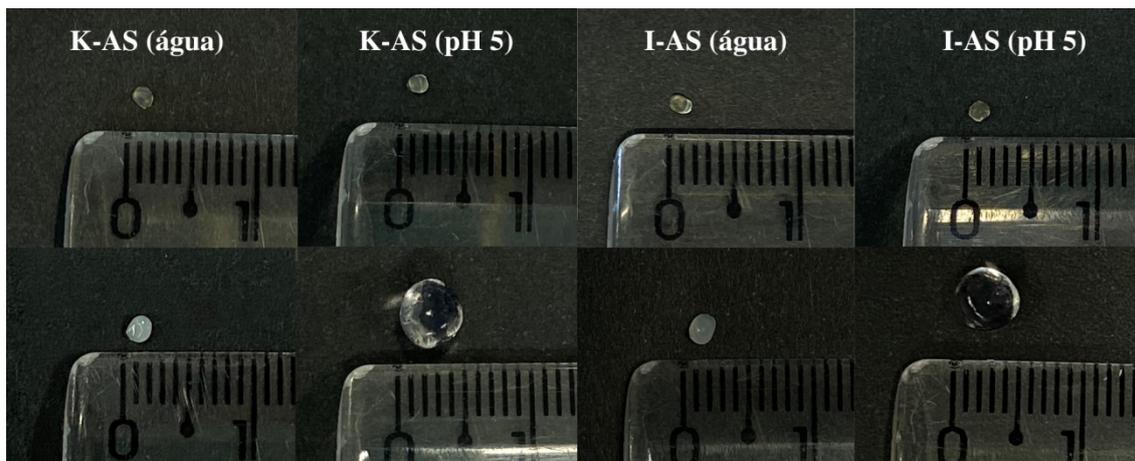
<b>Hidrogel</b>	<b>Tampão Acetato pH 5,0</b>			<b>Água Deionizada</b>		
	Massa inicial (mg)	Massa final (mg)	Intumescimento (%)	Massa inicial (mg)	Massa final (mg)	Intumescimento (%)
<b>K-AS</b>	6,8	190	2.698	6,9	14,3	107
<b>I-AS</b>	7,5	226	2.917	7,4	18,4	149

Ambos hidrogéis tiveram a capacidade de aumentar em mais de 2.500% a sua massa original em pH 5,0 e em mais de 100% em água deionizada. Devido aos grupos carboxilatos e sulfatos presentes nas estruturas dos hidrogéis estudados, o comportamento de intumescimento é extremamente dependente do pH. Portanto, pode ser definido como um hidrogel sensível ao pH.

Nestes hidrogéis, a ionização ocorre quando o pH do meio está acima do pKa dos grupos ionizáveis (~2 para os grupos sulfatos e ~4,3 para os grupos carboxila) Portanto, em pH 5,0 os grupos estão ionizados aumentando a repulsão entre as cadeias poliméricas, aumentando o intumescimento dos hidrogéis. O maior intumescimento na solução tampão de acetato pH 5,0 pode ser explicado por uma troca iônica entre alguns íons  $\text{Ca}^{2+}$  por íons  $\text{Na}^+$  presentes no tampão, diminuindo a reticulação e assim aumentando a distância entre as cadeias poliméricas do hidrogel (LIM,*et al.*,2017).

Em relação ao tamanho dos hidrogéis (Figura 10), foi observado que em água ambos hidrogéis (K-AS e I-AS) dobram de tamanho, partindo de aproximadamente 1 mm para 2 mm em 300 min, resultando em uma aparência levemente esbranquiçada e levemente achatada. Já em pH 5,0, os hidrogéis aumentam seu tamanho em cerca de 5 vezes, partindo de aproximadamente 1 mm para 5 mm, com uma aparência totalmente esférica e translúcida.

**Figura 10.** Tamanho dos hidrogéis secos e após 300 min submersos em água deionizada e pH 5,0, a 25°C.



Fonte: Autoria Própria

#### 4.3. TESTE DE EFICIÊNCIA

A eficiência de remoção dos corantes foi feita como um estudo inicial, objetivando estudar a porcentagem de remoção (em cada meio, com cada um dos corantes) com diferentes massas de hidrogel.

As massas pesadas de hidrogel foram de 30, 50, 80 e 100 mg. Estas foram testadas em uma concentração de  $2,94 \times 10^{-6}$  mol/L de VG e  $9,8 \times 10^{-7}$  mol/L de AM. Acompanhando no UV-Vis em um comprimento de onda de 665 nm para o AM e em 580 nm para a VG até o tempo de 5h, foi possível, através das curvas de calibração (Anexo 1), determinar a concentração final dos corantes após este tempo depois da adsorção para cada massa de hidrogel. Com isso, foram calculadas as porcentagens de remoção de cada corante, apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Teste de remoção com diferentes massas de hidrogel para os corantes estudados em tampão acetato em pH 5,0 e água deionizada, a 25°C.

Hidrogel	Corante	Meio	Remoção (%) com 30 mg	Remoção (%) com 50 mg	Remoção (%) com 80 mg	Remoção (%) com 100 mg
K-AS	VG	pH 5	33	38	46	<b>50</b>
K-AS	VG	Água	30	38	39	<b>41</b>
K-AS	AM	pH 5	33	38	45	<b>49</b>
K-AS	AM	Água	<b>56</b>	50	41	47
I-AS	VG	pH 5	23	24	30	<b>35</b>
I-AS	VG	Água	30	34	29	<b>38</b>
I-AS	AM	pH 5	27	26	27	<b>28</b>
I-AS	AM	Água	77	<b>78</b>	68	59

O maior percentual de remoção para cada sistema está destacado em negrito. Para quase todos os sistemas, a massa de 100 mg apresentou um maior percentual de remoção de ambos corantes após as 5h. Já para o sistema K-AS em água com o corante AM, o melhor percentual de remoção foi com apenas 30 mg do adsorvente. Ainda, o I-AS apresentou uma maior porcentagem de remoção com 50 mg no sistema de água com o corante AM.

#### 4.4. ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

As isotermas de adsorção relacionam a quantidade de adsorvato adsorvida pelo adsorvente ( $qe$ ) com a concentração do adsorvato remanescente ( $Ce$ ) na solução após o mesmo atingir o equilíbrio. Os parâmetros que são obtidos através das isotermas fornecem algumas informações, como as propriedades da superfície do adsorvato e qual a afinidade do adsorvente com o adsorvato. As isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich foram utilizadas neste trabalho para estudar a adsorção do corante pelos hidrogéis produzidos.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para dois tipos de sistemas (K-AS e I-AS em pH 5,0 e em água deionizada) no processo de adsorção do corante VG. O perfil de adsorção se ajustou melhor ao modelo de Freundlich para estes tipos hidrogéis nas

condições citadas, conforme os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresentados.

**Tabela 4.** Parâmetros das isotermas de Langmuir e Freundlich do corante Violeta Genciana nos hidrogéis.

	Hidrogel	Langmuir				Freundlich		
		$Q_{max}$ (mg/g)	$K_L$ (L/mg)	$R_L$	$R^2$	$K_F$ (mg/g)(L/mg)	1/n	$R^2$
Água	K-AS	58,76	$7,65 \times 10^{-4}$	0,956	0,9056	0,050	1,22	0,9334
	I-AS	84,82	$3,69 \times 10^{-4}$	0,969	0,9040	0,037	1,40	0,9754
pH 5	K-AS	76,20	$6,60 \times 10^{-4}$	0,952	0,9362	0,058	1,25	0,9715
	I-AS	41,88	$8,23 \times 10^{-4}$	0,966	0,8998	0,036	1,16	0,9172

O modelo de Langmuir apresenta algumas falhas em muitos aspectos devido à heterogeneidade da superfície do adsorvente, visto que este modelo considera a formação de uma monocamada, em que os adsorvatos são quimicamente adsorvidos por um número fixo de sítios ativos. Por isso, em alguns casos, tipos diferentes de centros ativos apresentam diferentes capacidades de adsorção para um determinado adsorvato ou a adsorção ocorre em locais específicos, podendo ser o restante do material diferente.

Yu *et al.* (2019) em seus estudos de adsorção de antibióticos com hidrogéis produzidos com os mesmos polímeros deste trabalho, concluíram que o modelo de Langmuir poderia não se encaixar efetivamente no comportamento de adsorção de hidrogéis, devido à estrutura do hidrogel. No entanto, destacam ainda que houve um bom ajuste para o modelo de Freundlich, concluindo então que o gel tem uma superfície irregular.

Ainda, Yang (2022) e colaboradores destacam em seu trabalho que sob a condição de baixa concentração de adsorvato, o processo de adsorção é mais consistente com modelo de Freundlich, e sob a condição de alta concentração, é mais consistente com o modelo de adsorção isoterma de Langmuir.

Segundo Lapwanit *et al.* (2018) o valor de  $R_L$  fornece informações relacionadas à afinidade de adsorção que pode ser considerada irreversível ( $R_L = 0$ ), favorável ( $0 < R_L < 1$ ), linear ( $R_L = 1$ ) ou desfavorável ( $R_L > 1$ ). Os valores obtidos para os sistemas estudados com o corante VG apresentaram valores de  $R_L < 1$ , indicando que a adsorção dos hidrogéis foi favorável.

Os valores de  $Q_{m\acute{a}x}$  representam a quantidade maxima adsorvida pela monocamada do hidrogel, ou seja, e o momento em que ocorre a saturaao da superficie, em que o adsorvente nao tem capacidade de continuar adsorvendo. Para a VG, os sistemas tiveram uma variaao no valor de 41,88 mg/g ate 84,82 mg/g.

Os valores de  $1/n$  obtidos atraves da Isoterma de Freundlich indicam aspectos importantes sobre o processo de adsorao. De forma geral, quando estes variam entre 0 e 1, o processo de adsorao demonstra ser favoravel (SUSZEK et al, 2013). Os valores experimentais encontrados de  $1/n$  para a remoao de VG, apesar de serem bastante proximos a 1, sao maiores do que o sugerido para um processo de adsorao favoravel. Porem, Hameed e colaboradores (2006) destacam que e mais comum obter um valor menor do que 1 quando o perfil de adsorao se ajusta melhor a Isoterma de Langmuir, desta forma, considerando os processos de adsorao comandados por quimissorao em monocamadas. Os autores ainda discutem que para perfis de adsorao melhor ajustados para a Isoterma de Freundlich, valores de  $1/n$  sao comumente maiores do que 1, indicando sıtios com energias diferentes de ligaao. Valores maiores do que 1 tambem podem indicar uma adsorao cooperativa, a qual ocorre se a interaao adsorvato-adsorvato e mais forte que a interaao adsorvato-adsorvente (CARVALHO; FUNGARO; IZIDORO, 2010).

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para dois tipos de sistemas (K-AS e I-AS em pH 5,0 e em gua deionizada) no processo de adsorao do corante AM. Ao comparar os valores de  $R^2$  apresentados, e possivel inferir um melhor ajuste a Isoterma de Freundlich pelo hidrogel K-AS. O hidrogel I-AS nao obteve um bom ajuste aos modelos propostos.

**Tabela 5.** Parametros das isotermas de Langmuir e Freundlich do corante Azul de Metileno nos hidrogeis.

	Hidrogel	Langmuir				Freundlich		
		$Q_{max}$ (mg/g)	$K_L$ (L/mg)	$R_L$	$R^2$	$K_F$ (mg/g)(L/mg)	$1/n$	$R^2$
gua	K-AS	281,72	$7,43 \times 10^{-4}$	0,827	0,3853	17,81	3,43	0,9716
	I-AS	-	-	-	-	-	-	-
pH 5	K-AS	33,58	$8,32 \times 10^{-4}$	0,973	0,7941	0,065	1,65	0,9453
	I-AS	-	-	-	-	-	-	-

Os valores obtidos para os sistemas estudados com o corante AM apresentaram valores de  $R_L$  menores do que um, indicando que a adsorção dos hidrogéis foi favorável. Porém, o valor de  $I/n$  calculado para os sistemas com AM, são valores maiores do que 1, principalmente o sistema de K-AS em água, que obteve um valor de 3,43. Como visto anteriormente, provavelmente a interação adsorvato-adsorvato é mais forte que a interação adsorvato-adsorvente, desfavorecendo o processo de adsorção pelos hidrogéis produzidos.

#### 4.5. MODELOS CINÉTICOS

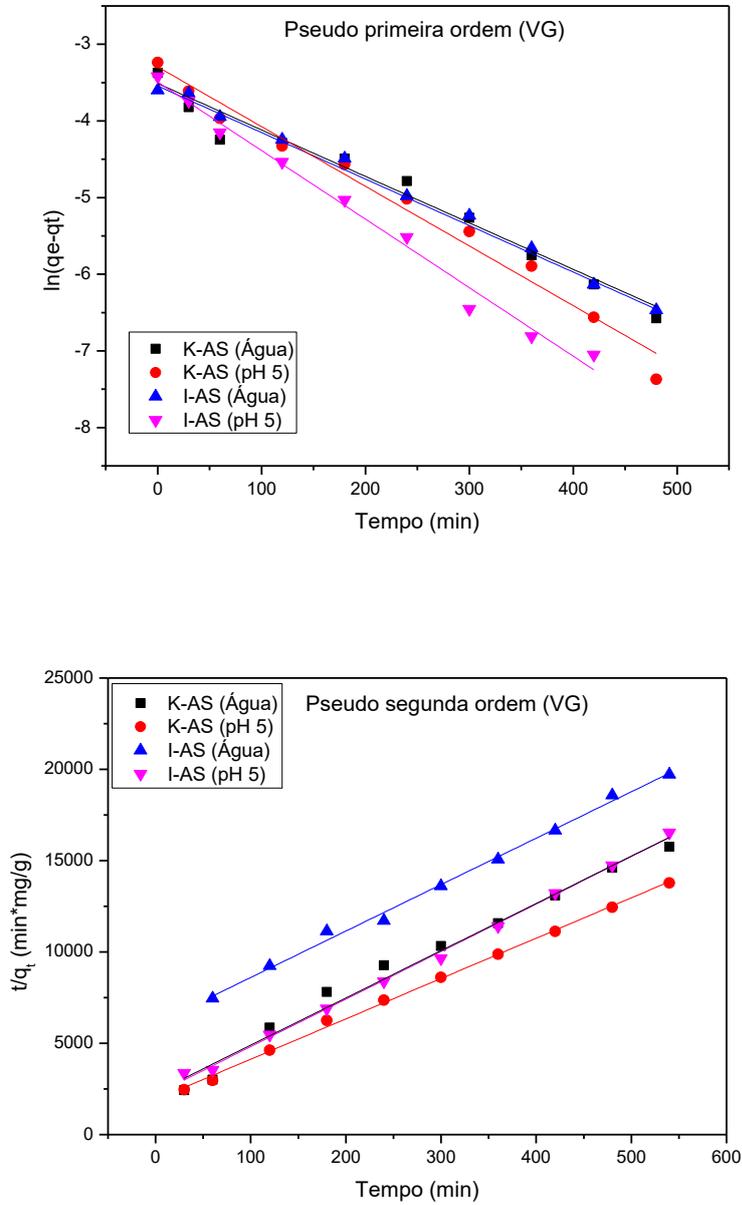
Os procedimentos dos experimentos cinéticos foram os mesmos aos dos testes de adsorção. As concentrações de corante foram iguais e amostras foram analisadas por UV-Vis nos mesmos intervalos de tempo. Com isso, é possível calcular a quantidade de adsorção no tempo  $t$  ( $q_t$ ) pela Equação 12:

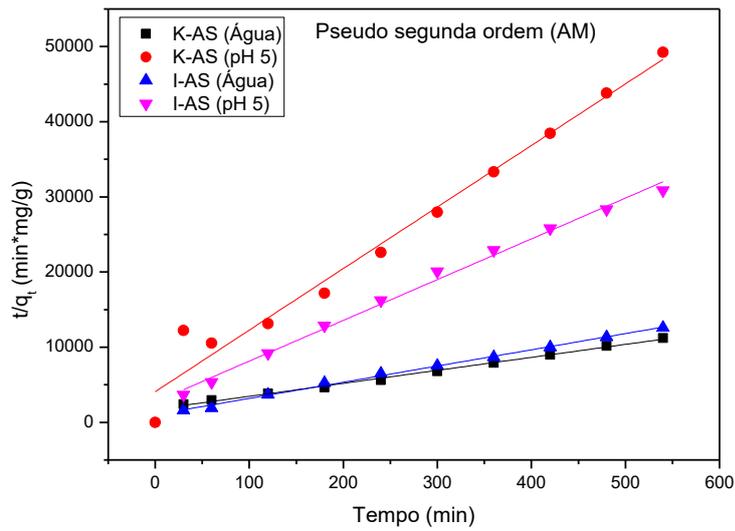
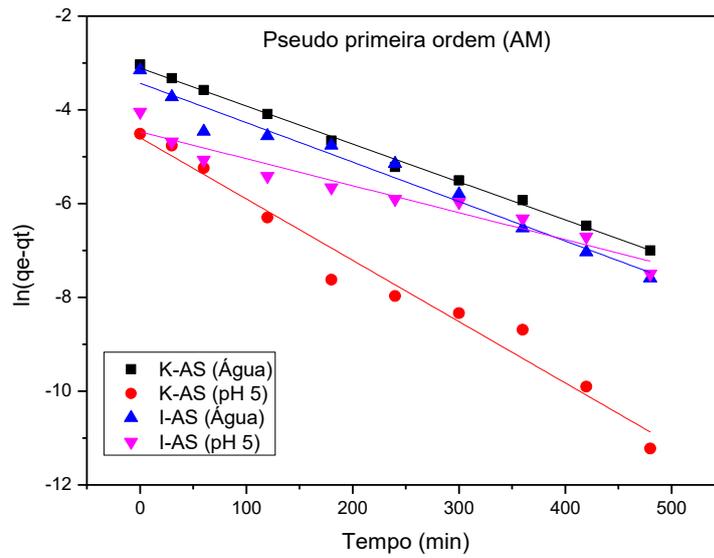
$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{W} \quad \text{(Equação 12)}$$

Onde  $C_0$  é a concentração inicial concentração de AM ou VG,  $C_t$  é a concentração final de MB no tempo  $t$  (min),  $V$  (L) é o volume da solução de AM ou VG e  $W$  é a massa da amostra de adsorvente (g).

A partir dos dados obtidos, foram realizadas as análises cinéticas da adsorção dos corantes por pseudoprimeira ordem e pseudosegunda ordem de forma linearizada. Os parâmetros intrínsecos de cada equação linear foram calculados a partir da regressão das curvas obtidas (Figura 12) são apresentados na Tabela 6 para a VG e Tabela 7 para o AM.

**Figura 11.** Modelos cinéticos linearizados de a) pseudoprimeira ordem para VG b) pseudosegunda ordem para VG c) pseudoprimeira ordem para AM e d) pseudosegunda ordem para AM, a 25°C





**Tabela 6.** Parâmetros cinéticos para adsorção de VG, a 25°C.

	Hidrogel	Pseudoprimeira ordem			Pseudo segunda ordem		
		$k_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$q_e$ (mg/g)	$R^2$	$k_2$ (g/mg min)	$q_e$ (mg/g)	$R^2$
Água	K-AS	0,0061	0,0290	0,9711	0,3852	0,0386	0,9922
	I-AS	0,0061	0,0299	0,9944	0,6305	0,0393	0,9949
pH 5	K-AS	0,0079	0,0372	0,9907	0,1195	0,0452	0,9905
	I-AS	0,0089	0,0305	0,9689	0,2485	0,0384	0,9988

**Tabela 7.** Parâmetros cinéticos para adsorção de AM, a 25°C.

	<b>Hidrogel</b>	<b>Pseudoprimeira ordem</b>			<b>Pseudosegunda ordem</b>		
		$k_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$q_e$ ( $\text{mg/g}$ )	$R^2$	$k_2$ ( $\text{g/mg min}$ )	$q_e$ ( $\text{mg/g}$ )	$R^2$
Água	K-AS	0,0081	0,04505	0,9963	0,1292	0,0578	0,9986
	I-AS	0,0084	0,03239	0,9853	0,0767	0,0463	0,9985
pH 5	K-AS	0,0131	0,01015	0,9706	3,495	0,0122	0,9879
	I-AS	0,0057	0,01145	0,0969	1,329	0,0184	0,9973

O estudo da cinética é importante pois revela a influência do tempo de contato sobre a quantidade de corante adsorvido pelo hidrogel. O modelo que obteve um melhor ajuste aos dados experimentais foi o de pseudosegunda ordem, visto que o coeficiente  $R^2$  deste modelo obteve valores mais próximos de 1.

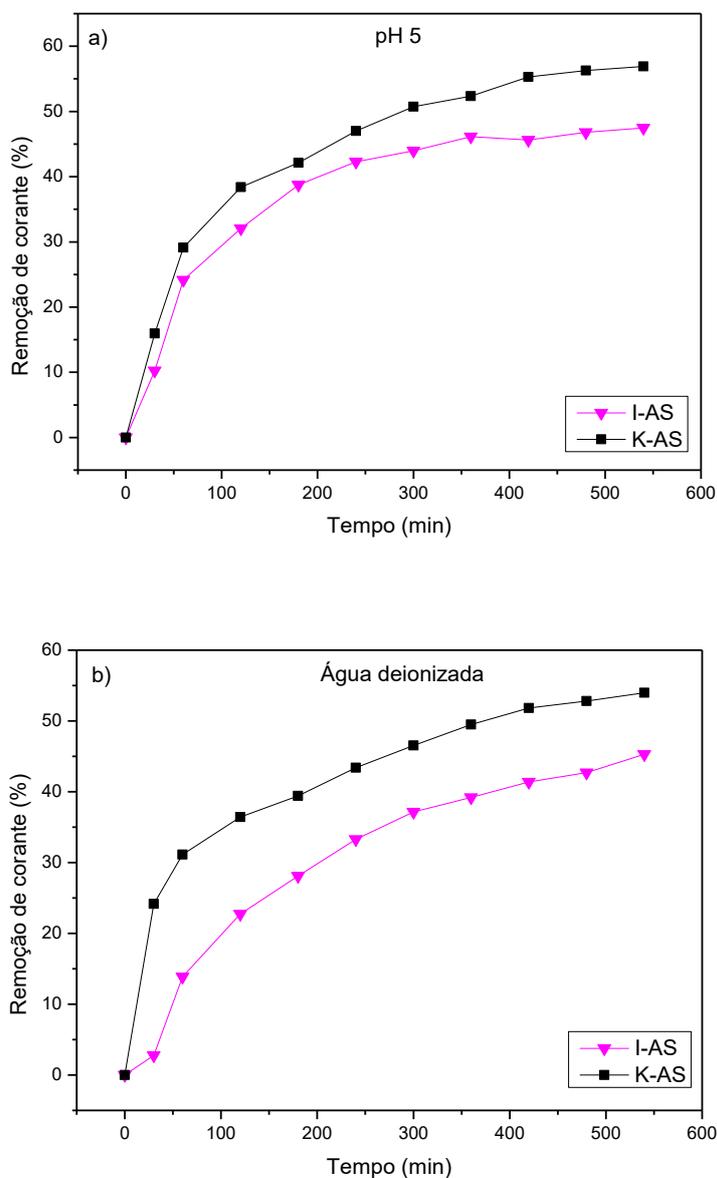
#### 4.6. REMOÇÃO DO CORANTE

A porcentagem de remoção do corante se deu através das condições otimizadas obtidas através do teste de eficiência, em que foi determinada a massa de hidrogel que obteve uma maior porcentagem de remoção em apenas uma concentração inicial de cada corante.

Com os dados obtidos de adsorção em 540 min, além da construção dos modelos de adsorção, foi possível acompanhar o percentual de remoção em cada tempo. A Figura 13 apresenta os gráficos de remoção do corante VG em água e em tampão acetato (pH 5,0) pelos dois tipos de hidrogéis formados. O hidrogel K-AS apresentou a porcentagem de remoção de 54% do corante em pH 5 e de 57% em água deionizada, enquanto o hidrogel I-AS variou entre 47% e 45% de remoção nos mesmos meios, respectivamente.

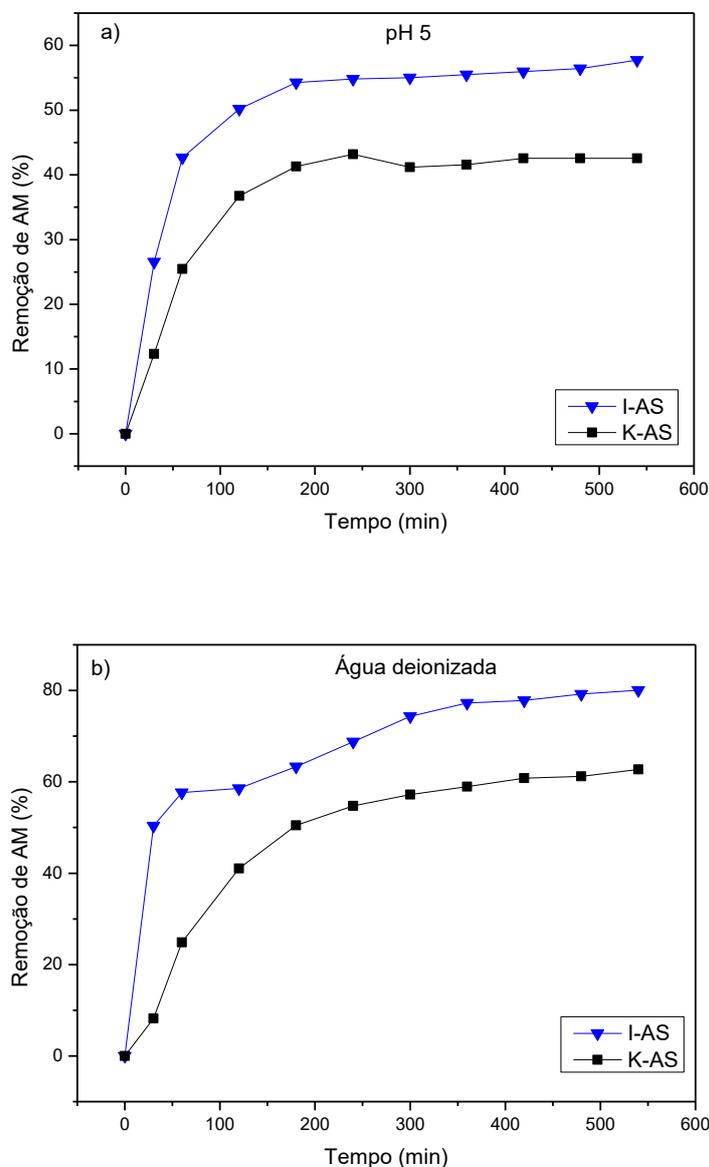
A remoção aconteceu de forma gradativa até próximo de 300 min para os sistemas em pH 5. Após este tempo, a porcentagem permaneceu próxima até o final do tempo. Já em água, para os mesmos sistemas, a porcentagem permaneceu crescente até o tempo de 400 minutos.

**Figura 12.** Porcentagem de remoção de corante VG para os hidrogéis de  $\kappa$ -carragenana/  $\iota$ -carragenana em a) pH 5 e b) água deionizada.



Já através dos gráficos da Figura 13, que apresentam os valores percentuais de remoção do corante AM, o hidrogel K-AS apresentou a porcentagem de remoção de 42% do corante em pH 5 e de 63% em água deionizada, enquanto o hidrogel I-AS variou entre 57% e 80% de remoção nos mesmos meios, respectivamente.

**Figura 13.** Porcentagem de remoção de corante AM para os hidrogéis de  $\kappa$ -carragenana/  $\iota$ -carragenana em a) pH 5 e b) água deionizada.



A remoção aumentou rapidamente no início da adsorção (0-100 min), principalmente para o hidrogel I-AS em água deionizada, que em apenas 60 minutos apresentou um percentual de aproximadamente 60% de remoção do corante. No sistema de pH 5, um equilíbrio é atingido por volta de 300 min, enquanto em água, para ambos os hidrogéis, apenas por volta de 400 min.

Três etapas principais envolvem o mecanismo de adsorção de corantes: na primeira, ocorre o deslocamento de moléculas de corante da solução para a superfície do adsorvente; na segunda, ocorre a difusão do corante da superfície para os locais de

adsorção internos e, na última, ocorre a interação entre as moléculas de corante e os sítios reativos ao longo da estrutura polimérica do hidrogel (LAPWANIT; SOOKSIMUANG; TRAKULSUJARITCHOK, 2018). Dito isso, a alta porcentagem de remoção do corante AM pelo hidrogel I-AS quando comparado ao K-AS pode ser explicada pela presença de mais cargas negativas na estrutura da ι-carragenana, assim, há mais interação do hidrogel com o corante, que é catiônico. Ademais, admite-se que as porcentagens com valores mais baixos de remoção com o corante VG em todos os meios diz respeito à estrutura do corante, que é bastante volumosa devido a um dos anéis aromáticos não estarem no mesmo plano dos outros dois, o que acarreta num impedimento estérico no momento de interação do corante com a superfície do hidrogel.

#### 4.7.COMPARAÇÃO COM A LITERATURA

Como o descarte incorreto de efluentes é um problema emergente, muitos trabalhos vêm estudando diferentes tipos de materiais adsorventes de baixo custo e inovadores para aplicação de diferentes tipos de corantes em diferentes meios.

Dito isso, na Tabela 8 consta um levantamento de diferentes materiais publicados em artigos/teses/dissertações que compreendem o processo de adsorção dos corantes estudados neste trabalho para fins de comparação de dados obtidos nas isotermas e qual o modelo cinético melhor ajustado para cada sistema.

Assim como neste trabalho, o modelo cinético de pseudosegunda ordem obteve melhor ajuste para os sistemas propostos pelos autores, com diferentes tipos de materiais, porém para os mesmos corantes propostos neste trabalho.

Os valores de  $Q_{m\acute{a}x}$  obtidos neste trabalho estão dentro da faixa dos trabalhos comparados e até mesmo com valores superiores a alguns materiais.

**Tabela 8.** Comparação entre as capacidades máximas de adsorção de alguns materiais e melhor ajuste de modelo cinético.

Material	Corante	Q <sub>máx</sub> (mg/g)	Modelo Cinético	Referência
Carboximetilcelulose/k-carragenana/montmorilonita ativada	AM	10,75	Pseudosegunda ordem	Liu e colaboradores (2017)
Serragem de pinus	AM	47	Pseudosegunda ordem	Müller e colaboradores (2019)
Serragem de bambu	AM	38	Pseudosegunda ordem	Müller e colaboradores (2019)
Caroço de abacate	VG	75,19	Pseudosegunda ordem	Bazzo (2015)
CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /composto magnético de carvão ativado	VG	179,2	Pseudosegunda ordem	Liang e colaboradores (2018)
Iota-carragenana/alginato de sódio	VG	84,82	Pseudosegunda ordem	Este trabalho

#### 4.8.MATERIAL DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

A internet tem se mostrado um meio fácil e rápido de troca de informações e conteúdo. Muitas pessoas utilizam esse meio para estudar, trabalhar e também utilizam as redes sociais para se distrair, assistindo vídeos e postando parte do seu dia-a-dia para as demais pessoas. As redes sociais podem ser caracterizadas como espaços presenciais e/ou virtuais nos quais pessoas com os mesmos objetivos trocam vivências, criando bases e gerando informações significativas para outras pessoas interessadas pelo tema. (TOMAÉL; ALCARÁ; DI CHIARA, 2005). Elas conectam pessoas, e conseguem disseminar a informação de uma forma muito rápida - tanto para o bem, quanto para o mal. Contudo, devido a esse fácil acesso e rápido compartilhamento de ideias, podem surgir *fake news* (notícias falsas), gerando desinformação, pois nem todo conteúdo divulgado é feito por pessoas que são especializadas no assunto.

Uma forma de combate à desinformação é fazer a aproximação da ciência com a população, e isso pode ser feito através da divulgação científica, que pode ser entendida

como a utilização de veículos ou canais técnicos para a entrega de informações científicas, tecnológicas ou associadas a inovações ao público leigo (BUENO, 2009; 2010). As pessoas leigas que não são alfabetizadas cientificamente podem associar a ciência, mais especificamente a Química, a um tipo de conhecimento desinteressante e difícil devido a experiências ruins na escola ou à falta de contato após finalizarem a educação básica e, dessa forma, não conseguem relacionar a sua realidade com conteúdos científicos.

Por outro lado, o processo de DC é capaz de estabelecer conexões entre o mundo da Ciência e outros mundos por meio de articulações contextuais destinadas a mostrar a Ciência e a Tecnologia de forma acessível a um público não especializado (MORA, 2003; KREINZ, 2009). Bueno (2010, p. 5), destaca que a divulgação científica pode “[...] democratizar o acesso ao conhecimento científico e estabelecer condições para a chamada alfabetização científica. Contribui, portanto, para incluir os cidadãos no debate sobre temas especializados e que podem impactar sua vida e seu trabalho”.

A Química não é tratada de forma que a população enxergue o seu papel social. Porém, ao fazer com que o cidadão seja incluído no meio científico, compreendendo o papel social da ciência, ele terá capacidade de argumentar, participar e tomar decisões criticamente na sociedade atual, além de compreender eventos de Química cotidianos e o processo de construção do conhecimento científico. O ensino de Química “ultrapassa o conhecimento puramente científico construído em laboratórios e vai além da mera informação dos avanços da Ciência moderna, adquirindo, assim, uma função social que denota a importância da Química na vida das pessoas” (SCHNETZLER, SOUZA, 2018, p. 12). Com isso, evidencia-se a necessidade das pessoas leigas de terem uma certa noção do conhecimento científico.

É importante fazer a distinção entre Divulgação Científica (DC) e Comunicação Científica (CC), sendo as principais diferenças: “o do público, o nível de discurso, a natureza dos canais ou ambientes utilizados na veiculação da informação e a intenção explícita de cada processo em particular” (MATEUS; GONÇALVES, 2012, p. 30). Na CC, Bueno (2010) considera existir duas formas de comunicação especializada, a primeira referente ao público intrapar, que seria pesquisadores da mesma área e a segunda direcionada a um público extrapar que seriam comunicações entre pesquisadores de diferentes áreas, porém compartilhando discussões sobre ciências.

Para Mateus e Gonçalves (2012, p. 34), “a adequação do discurso científico para o público leigo acontece por reformulações na linguagem, de modo a torná-la

compreensível àqueles que não, necessariamente, dominam os jargões científicos”. Ou seja, há a necessidade de adequar a linguagem ao público que será direcionada à divulgação científica. Porém, segundo Rocha-Trindade (1988) um texto pode ser um sucesso de aceitação em um determinado público, mas pode ser um fracasso quando utilizado para outro público, “porque possuímos histórias de vida diferentes, permeadas por experiências e aprendizagens diversas, logo, não há como ter um nível padrão de conhecimentos prévios” (MATEUS; GONÇALVES, 2012, p. 32). Então, é importante observar o meio em que a divulgação está sendo feita e de que forma está sendo feita, ou seja, os discursos científicos são

[...] relatados e utilizam-se da partícula se e verbos na terceira pessoa do singular para demarcar a impessoalidade do autor. O fato torna-se o ponto central, em ambos os discursos, a presença do autor aparece de forma camuflada. Os fatos tomam forma e, muitas vezes, aparecem como vozes que falam dentro dos textos. [...]. O divulgador o utiliza como ferramenta de sustentação de sua fala. (CUNHA, GIORDAN, 2009, p. 3)

Segundo Lévy (2000, *apud* Lordêlo, Porto, 2011), a internet se constitui em um “[...] grande oceano do novo planeta informacional” e oferece inúmeras possibilidades de locais, formatos e linguagens para a comunicação de temas científicos aos públicos já conectados. Porém, apesar da internet ser uma fonte de oportunidades de acesso à informação, “grande parte da população de renda mais baixa e menos educada fica em desvantagem, já que especialmente a ela são oferecidos serviços comunicacionais restritos, em detrimento de todas as possibilidades da rede”. (VELHO, 2019, p. 38).

A partir da necessidade da construção de um material de divulgação científica sobre o tema deste trabalho e com base na literatura, foi desenvolvido um material com fotos e vídeos para a divulgação na rede social *Instagram* da autora do trabalho, com objetivo de abordar os seguidores de forma que ficassem interessados no trabalho produzido dentro da Universidade.

O material de divulgação consiste em um “carrossel” em um post único com 4 diferentes temas em cada “página”: 1) Foto dos hidrogéis que já são conhecidos no *instagram* da autora; 2) O que são hidrogéis; 3) Como são preparados; 4) Utilização dos hidrogéis.

## 5. CONCLUSÃO

Os hidrogéis de  $\kappa$ -carragenana/alginato de sódio e  $\iota$ -carragenana/alginato de sódio foram formados após a reticulação com cloreto de cálcio. Os hidrogéis apresentaram formato esférico devido à metodologia empregada e, após a secagem, permaneceram esféricos, possibilitando os estudos de adsorção dos corantes em solução. Através dos espectros de FTIR, foi possível observar sinais correspondentes aos polímeros de origem em cada um dos hidrogéis produzidos.

Pelo tratamento dos dados utilizando os modelos cinéticos de pseudoprimera ordem e pseudosegunda ordem apresentaram bom ajuste a esses modelos. O modelo de pseudosegunda ordem foi o que apresentou o melhor  $R^2$  para em todos os sistemas estudados.

A Isoterma de Freundlich mostrou um melhor ajuste quando comparada com os parâmetros observados da Isoterma de Langmuir. Nesse sentido, tem-se que o processo de adsorção não segue o modelo de monocamada, mas sim que apresenta sítios de ligação energeticamente diferentes. Os parâmetros calculados a partir desses modelos mostram que a adsorção dos corantes pelos os hidrogéis a base de alginato de sódio e carragenanas foram favoráveis, com valores de  $Q_{\text{máx}}$  obtidos de 41,88 mg/g a 84,82 mg/g para o corante VG e de 33,58 mg/g a 281,72 mg/g para o corante AM.

## REFERÊNCIAS

AHMED, E. M. Hydrogel: Preparation, Characterization, and Applications: A Review. **J. Adv. Res**, v. 6 , p.105–121. 2013

ALMEIDA, J. F. S. L. **Preparação e Caracterização de Hidrogéis para Aplicações Biomédicas**. 2019. 1 recurso online (309 p.) Tese (doutorado). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Departamento de Engenharia Química

ANAL, A. K.; BHOPATKAR, D.; TOKURA, S.; TAMURA, H.; STEVENS, W. F. Chitosan-alginate multilayer beads for gastric passage and controlled intestinal release of protein, **Drug Dev. Ind. Pharm.** v. 29, p. 713–724, 2003.

ATKINS, P.; PAULA, J. **Físico Química**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 427 p.

AZIZI, R.; FARAHNAKY, A. Ultrasound Assisted-Viscosifying of Kappa Carrageenan without Heating. **Food Hydrocolloid**. v. 61, p. 85–91, 2016.

BAZZO, A. **Aplicação e Caracterização do caroço de Abacate ( Persea Americana Mill ) como Adsorvente na remoção do Corante Violeta Cristal**. Dissertação (mestrado). 1 recurso online (83 p.)Univ. Fed. do Rio Gd. do Sul. Programa Pós Graduação em Ciência dos Materiais, 2015.

BUENO, W. C. B. Jornalismo científico: revisitando o conceito. In: VICTOR, C.; CALDAS, G.; BORTOLIERO, S. (Org.). **Jornalismo científico e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: All Print, 2009. p.157-178.

BUENO, W. C. Comunicação Científica e Divulgação Científica: aproximações e rupturas conceituais. **Inf. Inf.**, Londrina, v. 15, n. esp., p. 1 - 12, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/view/6585>> Acesso em 07 nov. 2022.

CARVALHO, T. E. M. De. **Adsorção de corantes aniônicos de Solução Aquosa Em Cinza Leve de Carvão e Zeólita de Cinza Leve de Carvão**. Dissertação (mestrado). 1 recurso online (119 p.), 2010.

DABROWSKI, A. Adsorption - from theory to practice. **Adv. Colloid Interface Science**. v. 93, p. 135-224, 2001.

DUMAN, O.; POLAT, T. G.; DIKER, C. Ö.; TUNÇ, S. Agar/ $\kappa$ -Carrageenan Composite Hydrogel Adsorbent for the Removal of Methylene Blue from Water. **Int. J. Biol. Macromol.** v. 160, p. 823–835, 2020.

GODIYA, C. B.; XIAO, Y.; LU, X. Amine functionalized sodium alginate hydrogel for efficient and rapid removal of methyl blue in water. International. **Journal of Biological Macromolecules**, v. 144, p. 671-681, 2019.

HAMEED, B. H.; DIN, A. T. M; AHMAD, A. L. Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: Kinetics and equilibrium studies. **Journal of Hazardous Materials**, v. 141 p. 819–825, 2007.

KHARAT, D. S. Preparing Agricultural residue based adsorbents for removal of dyes from effluents: a review. **Brasilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 1-12, 2015.

KIRCHEIS, R.; WIGHTMAN, L.; WAGNER, E. Design and Gene Delivery Activity of Modified Polyethylenimines. **Adv. Drug Deliv. Rev.** v. 53, p. 341–358, 2001.

KONONOVA, S. V.; VOLOD'KO, A. V.; PETROVA, V. A.; KRUCHININA, E. V.; BAKLAGINA, Y. G.; CHUSOVITIN, E. A.; SKORIK, Y. A. Pervaporation Multilayer Membranes Based on a Polyelectrolyte Complex of  $\lambda$ -Carrageenan and Chitosan. **Carbohydr. Polym.** v. 181, p. 86–92, 2018.

KOZLOWSKA, J.; PAUTER, K.; SIONKOWSKA, A. Carrageenan-Based ydrogels: Effect of Sorbitol and Glycerin on the Stability, Swelling and Mechanical Properties. **Polym. Test.** v. 67, p. 7–11, 2018.

LAPWANIT, S.; SOOKSIMUANG, T.; TRAKULSUJARITCHOK, T. Adsorptive Removal of Cationic Methylene Blue Dye by Kappa-Carrageenan/Poly(Glycidyl Methacrylate) Hydrogel Beads: Preparation and Characterization. **J. Environ. Chem. Eng.** v. 6 (5), p. 6221–6230, 2018.

LIANG, Y. D.; HE, Y. J.; WANG, T. T.; LEI, L. H. Adsorptive Removal of Gentian Violet from Aqueous Solution Using CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Activated Carbon Magnetic Composite. **J. Water Process Eng.** v. 27 p. 77–88, 2018.

LIM, H. P.; OOI, C. W.; TEY, B. T.; CHAN, E. S. Controlled delivery of oral insulin aspart using pH-responsive alginate/kcarrageenan composite hydrogel beads. **Reactive and Functional Polymers**, V. 120 p. 20-29, 2017.

LORDÊLO, F. S.; PORTO, C. M. A Internet como Ferramenta de Divulgação Científica sobre Energias Renováveis. **Revista de Comunicação e Epistemologia da Universidade Católica de Brasília**, n.8, 2011. Disponível em <<https://portalrevistas.ucb.br/index.php/RCEUCB/article/view/2437/1501>> Acesso em 12 nov. 2022.

MAHDAVINIA, G. R., RAHMANI, Z., KARAMI, S., POURJAVADI, A. Magnetic/pH-sensitive κ-carrageenan/sodium alginate hydrogel nanocomposite beads: preparation, swelling behavior, and drug delivery. **Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition**, p. 1891–1906, 2014.

MATEUS, W.; GONÇALVES, C. Discutindo a divulgação científica: o discurso e as possibilidades de divulgar ciência na internet. **Revista Areté: Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, [S.l.], v. 5, n. 9, p. 29-43, abr. 2017. ISSN 1984-7505. Disponível em: <<http://periodicos.uea.edu.br/index.php/arete/article/view/45>>. Acesso em: 12 nov. 2022.

MITTAL, H.; ALILI, A. A.; MORAJKAR P. P.; ALHASSAM, S. M. Crosslinked hydrogels of polyethylenimine and graphene oxide to treat Cr(VI) contaminated

wastewater. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. v. 630, p. 1-11, 2021.

MO, Y.; WANG, S.; VINCEN, T.; DESBRIERES, J.; FAUR, C.; GUIBAL, E.; New highly-percolating alginate-PEI membranes for efficient recovery of chromium from aqueous solutions. **Carbohydrate Polymers**, v. 225, 115177, 2019.

MORA, A. M. S. **A Divulgação da Ciência como Literatura**. Traduzido por Silvia Pérez Amato. Rio de Janeiro, Casa da Ciência, Universidade Federal do Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2003

MÜLLER, L. C.; ALVES, A. A. A.; MONDARO, R. I. SENS, M. L. Adsorção do azul de metileno em serragem de *Pinus elliottii* (pinus) e *Drepanostachyum falcatum* (bambu). **Eng Sanit Ambient**. v.24 n.4 (2019), p. 687-695

NAYAK, A. K.; PAL, A. Enhanced Adsorption of Gentian Violet Dye from Water Using Lignocellulosic Agricultural Waste Modified with Di- And Tri-Carboxylic Acids: Artificial Intelligence Modeling, Practical Comprehension, Mechanistic and Regeneration Analyses. **J. Environ. Chem. Eng**. v. 9 (4), 105578, 2021.

OLADIPO, A. A.; GAZI, M. Enhanced Removal of Crystal Violet by Low Cost Alginate/Acid Activated Bentonite Composite Beads: Optimization and Modelling Using Non-Linear Regression Technique. **J. Water Process Eng**. v. 2, p. 43–52, 2014.

PAULA, A. P.; BENEVIDES, N. M. B.; CUNHA, A. P.; OLIVEIRA, A. V.; PINTO, A. M. B.; MORAIS, J. P. S.; AZEREDO, H. M. C. Development and characterization of edible films from mixtures of k-carrageenan, i-carrageenan, and alginate. **Food Hydrocolloids**. v. 47, p. 140-145, 2015.

ROUQUEROL, F.; ROUQUEROL, J.; SING, K. Adsorption by power and porous solids: principles, methodology and applications. Marselha: **Academic Press**, 2013. 646 p.

SAFARZADEH, H. et al. Adsorption ability evaluation of the poly(methacrylic acid-co-acrylamide)/cloisite 30B nanocomposite hydrogel as a new adsorbent for cationic dye removal. **Environmental Research**, v. 212, p. 113349, 2022.

SALES, P. F. **Aplicações ambientais de argilominerais modificados por tratamento ácido: a busca por materiais ecoamigáveis**. Tese (doutorado) 1 recurso online (143 p.) Universidade Federal de Lavras, 2013.

SALGADO, H. M. R. **ADSORÇÃO DE CORANTE CRISTAL VIOLETA EM CINZA DE LAVADOR DE GASES PROVENIENTE DE ATIVIDADE AGROINDUSTRIAL**. 1 recurso online (110 p.) Universidade Federal de Lavras, 2016.

SARIYER, S.; DURANOGLU, D.; DOGAN, O.; KÜÇÜK, I. pH-responsive double network alginate/kappa-carrageenan hydrogel beads for controlled protein release: Effect of pH and crosslinking agent. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**. v. 56, p. 1-7, 2020.

SASON, G.; NUSSINOVITCH, A. Characterization of  $\kappa$ -Carrageenan Gels Immersed in Ethanol Solutions. **Food Hydrocoll.** v. 79, p. 136–144, 2018.

SHIRSATH, S. R.; PATIL, A. P.; BHANVASE, B. A.; SONAWANE, S. H. Ultrasonically Prepared Poly(Acrylamide)-Kaolin Composite Hydrogel for Removal of Crystal Violet Dye from Wastewater. **J. Environ. Chem. Eng.** v. 3 (2), p. 1152–1162, 2015

SUSZEK, G. M.; BETTIN, J. P., SANTOS DA SILVA JUNIOR, L. C.; SAMPAIO, S. C.; DAL BOSCO, T. C. ADEQUAÇÃO DOS MODELOS DE LANGMUIR E FREUNDLICH NA ADSORÇÃO DE COBRE EM SOLO ARGILOSO DO SUL DO BRASIL. **HOLOS**, 4, 37–44, 2013

VELHO, R. M. G. A. **O papel dos vídeos de ciência na divulgação científica: o caso do projeto ScienceVlogs Brasil**. 2019. 1 recurso online (174 p.). Dissertação

(mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Estudos da Linguagem, Campinas, SP.

XIONG, B.; WANG N.; CHEN, Y.; PENG, H. Self-assembly of alginate/polyethyleneimine multilayer onto magnetic microspheres as an effective adsorbent for removal of anionic dyes. **J. Appl. Polym. Sci.**, 135, 45786, 2017.

XU, R.; ZHOU, G.; TANG, Y.; CHU, L.; LIU, C. ZENG, Z.; LUO, S. New double network hydrogel adsorbent: Highly efficient removal of Cd(II) and Mn(II) ions in aqueous solution. **Chemical Engineering Journal**, Journal 275, p. 179-188, 2015.

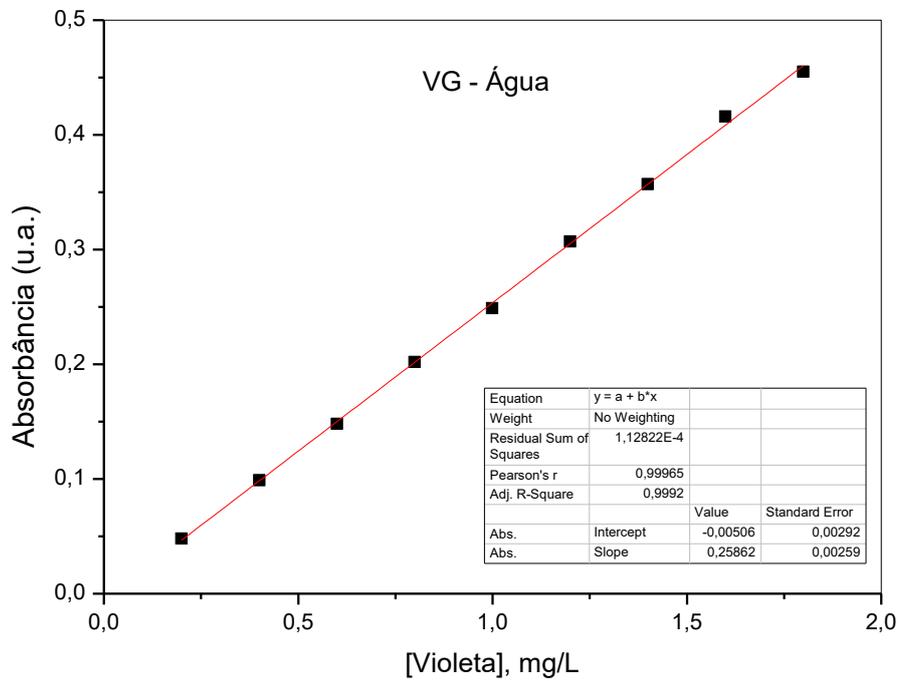
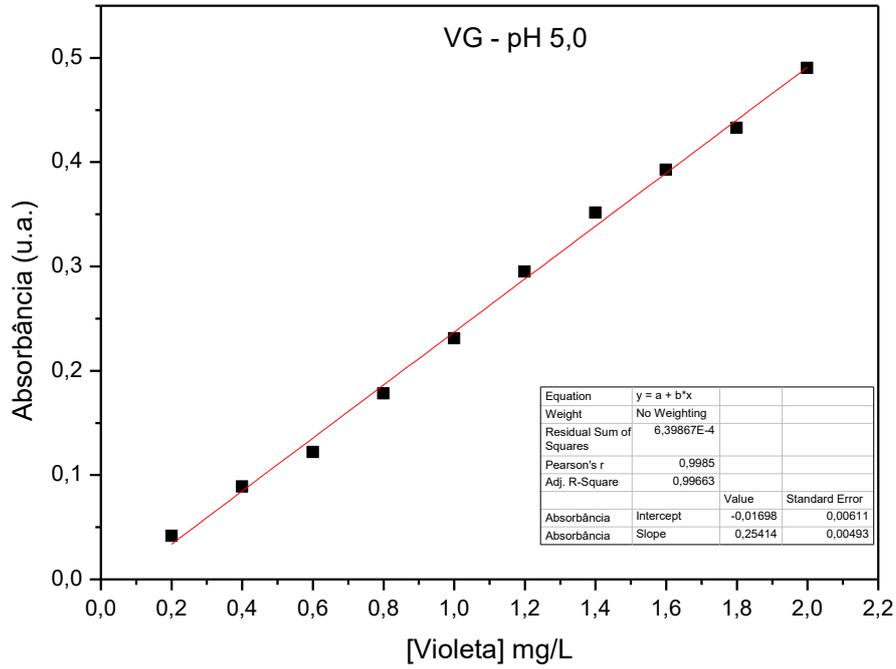
YANG, P.; YU, F.; YANG, Z.; ZHANG,X.; JIE, M. Graphene oxide modified  $\kappa$  carrageenan/sodium alginate double-network hydrogel for effective adsorption of antibiotics in a batch and fixed-bed column system. **Science of the Total Environment**, 837, p. 1-11. 2022.

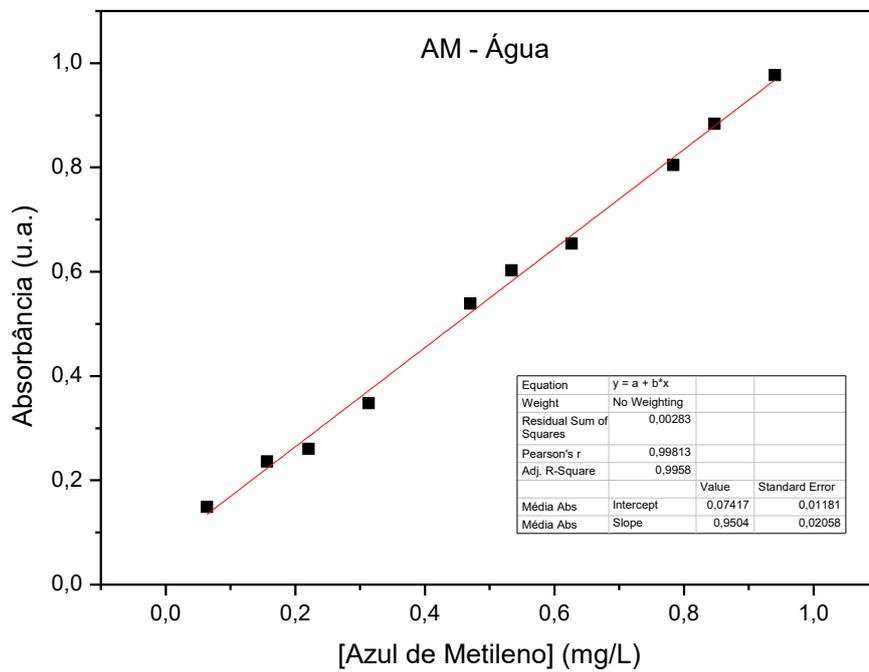
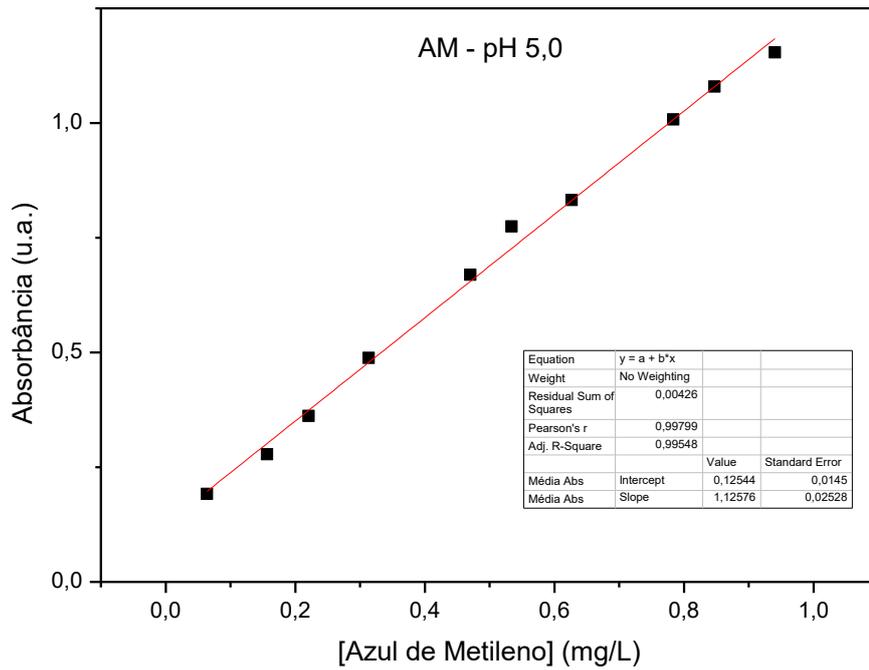
YU, F.; CUI, T.; YANG, C.; DAI, X.; MA, J. K-Carrageenan/Sodium Alginate DoubleNetwork Hydrogel with Enhanced Mechanical Properties, Anti-Swelling, and Adsorption Capacity. **Chemosphere** , v. 237, p. 1-7, 2019.

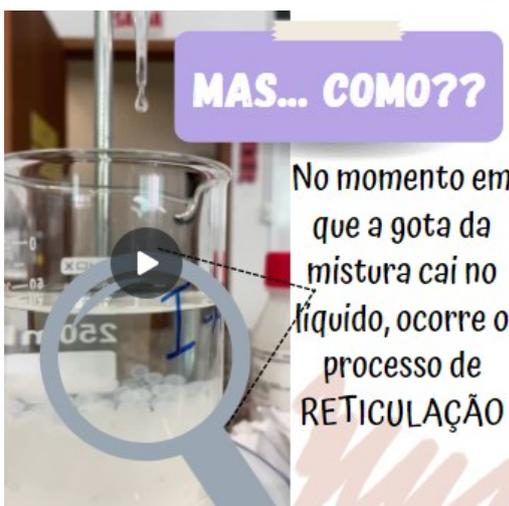
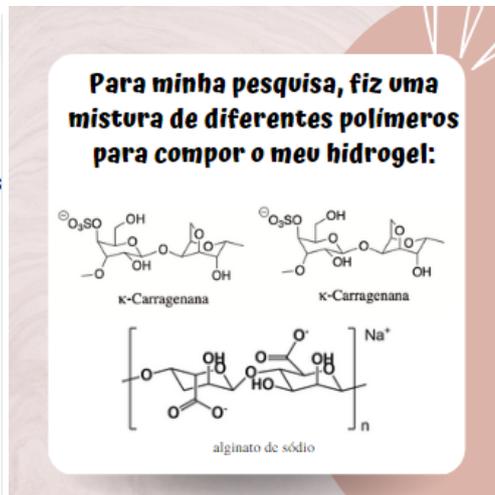
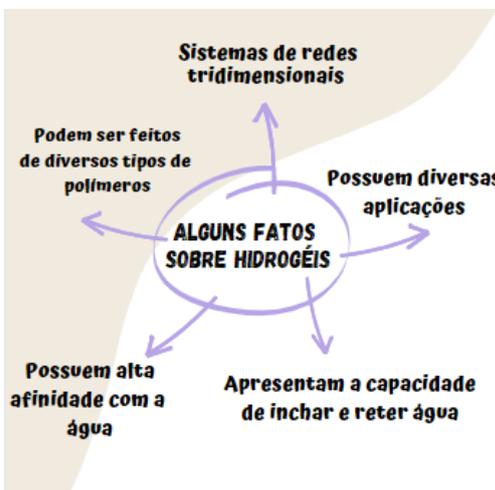
ZANONINI, M. V. B.; YAMANAKA, H. **Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. 1 ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016.

ZIA, K. M.; TABASUM, S.; NASIF, M.; SULTAN, N.; ASLAM, N.; NOREEN, A.; ZUBER, M. A Review on Synthesis, Properties and Applications of Natural Polymer Based Carrageenan Blends and Composites. **Int. J. Biol. Macromol.** v. 96, p. 282–301, 2017.

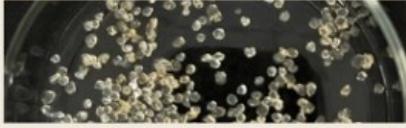
ANEXO 1 – Curvas de calibração







**DEPOIS DE SECOS, ELAS FICAM BEM MENORES:**



Mas, com sua propriedade de inchar em meio aquoso, eles voltam a ficar redondinhos e maiores:



**AS APLICAÇÕES SÃO DIVERSAS....**

Indústria farmacêutica  
(entrega de fármacos)

Medicina  
(curativos para tratamentos)

Ambiental  
(adsorção de poluentes)

**Esse é meu objetivo!**



Remover corantes  
que foram  
descartados  
incorretamente!

**E AÍ? GOSTOU DE SABER UM  
POUQUINHO MAIS SOBRE A  
MINHA PESQUISA?**



**Espero que você tenha gostado!**

Qualquer dúvida, pode deixar nos comentários ou mandar uma mensagem!