

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE QUÍMICA E ALIMENTOS
PPG-ECA / PPG-QTA / PPG-EQ

Aplicação de materiais à base de quitosana para remoção de corantes e íons metálicos em soluções aquosas

Prof. Dr. Luiz Antonio de Almeida Pinto

Gramado, 2018

1. Quitosana

- Definição;
- Fontes;
- Obtenção;
- Caracterização;
- Aplicações (Adsorção).

2. Estudos no LTI/EQA/FURG

Definição

Quitosana?



Polissacarídeo catiônico, produzido através da desacetilação da quitina, encontrada no exoesqueleto de crustáceos, através de um processo de alcalinização sob altas temperaturas.

Aspectos químicos:

Quitina:



- (β -(1-4)-N-acetil-D-glucosamina)
- Segundo polímero mais encontrado na natureza depois da celulose.
- Deriva da palavra grega *chiton*, que significa revestimento protetor.

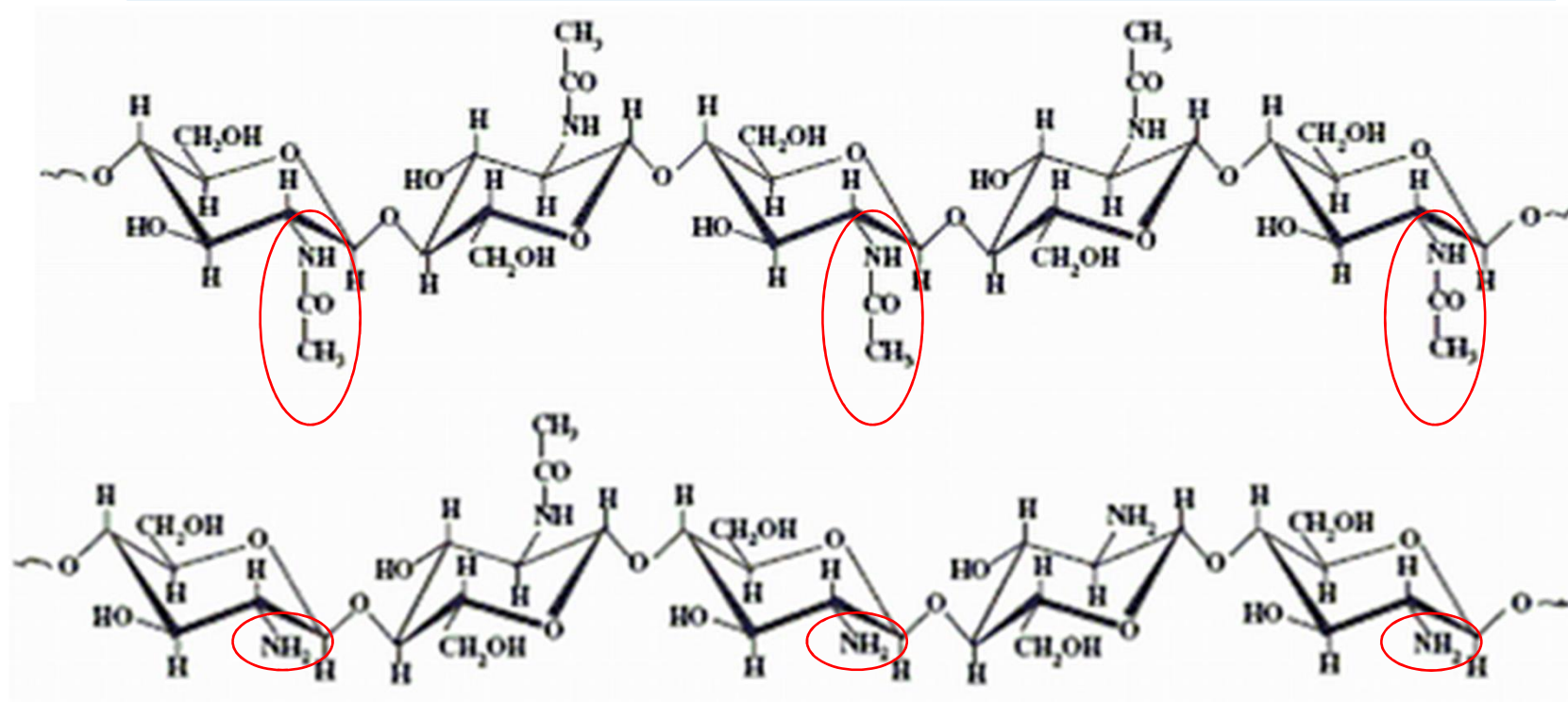
Definição

Quitina



Quitosana

Grau de desacetilação → Acima de 50% → solúvel em meio aquoso ácido → quitosana



Definição

- Polímero semicristalino;
- Alta massa molar;
- Poliamina.

Principais grupos reativos:

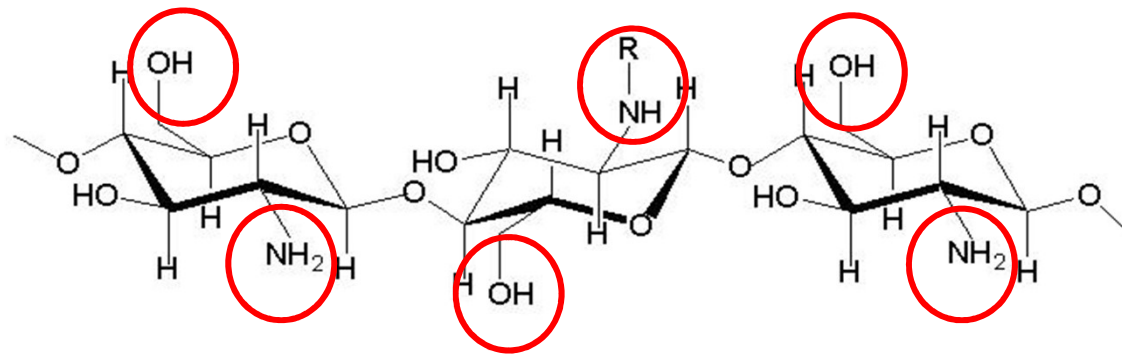


Figura 1: Estrutura química da quitosana

- . **Grupos amino:** estão disponíveis para reações químicas (preparação de derivados) e formação de sais com ácidos.
- . **Grupos hidroxila:** C-6 (primário) e C-3 (secundário) também podem ser utilizados na preparação de derivados.

Definição



A quitosana comercial normalmente é utilizada na forma de pó ou flocos.

Produtos de diferentes empresas diferem em:

- Pureza;
- Forma;
- Cor;
- Grau de desacetilação;
- Massa molar;
- Cristalinidade.



Definição

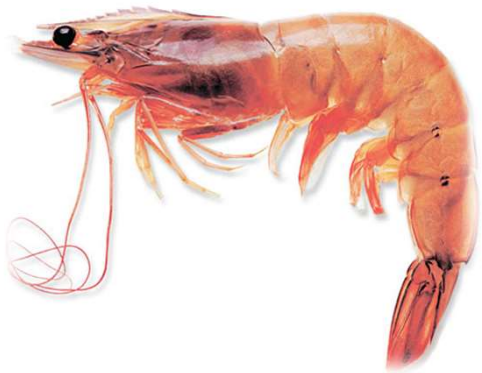
Tabela 1: Especificações técnicas da quitosana comercial.

Quitosana	Especificações
Partícula	80Mesh pó ou fatia
Conteúdo de Umidade	< 10,0%
Conteúdo de Cinzas	< 1,0%
Insolubilidade	< 1,0%
Desacetilação	> 85,0%; >90,0%; 95,0%
Viscosidade	30-3000CPS
PH	6-7

Fonte: UNIVERSAL NUTRITION EUA, 2005.

Fontes

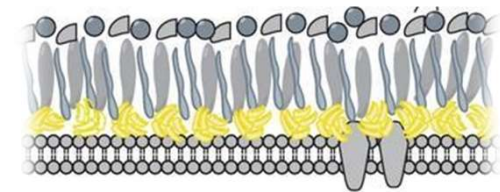
Fontes



Animais Marinhos



Exoesqueletos de insetos



Microrganismos

**Principais fontes
de crustáceos:**

**Os conteúdos em quitina pode variar
entre 5 a 20% dos resíduos (base úmida)**



Fontes

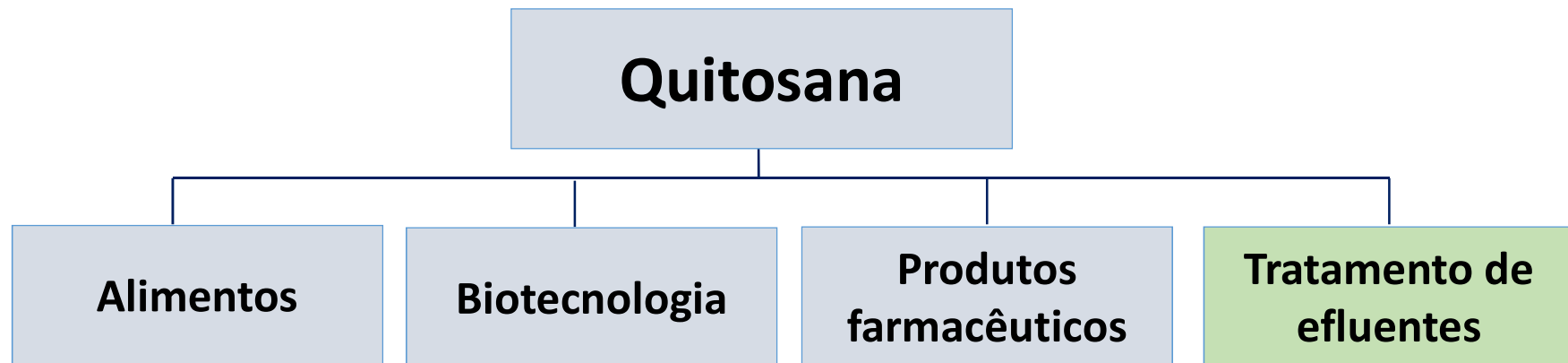


A industrialização do camarão gera grandes quantidades de resíduos, devido principalmente à falta de reconhecimento deste recurso como matéria-prima e fonte para outros produtos.

IBAMA → entre 1999 e 2009 o desembarque médio de camarão no RS foi de 3600 toneladas por ano, onde cerca de 60% do peso total do camarão são resíduos (com 75% de umidade), e 5-7% destes constituem-se de quitina.



Quitosana → interesse mundial → obtida de recursos naturais renováveis, biodegradável e não tóxica.



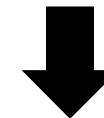
Obtenção

Isolamento da quitina:

Tratamentos químicos
sequenciais destinados a
eliminar as substâncias
que a acompanham.

três etapas

Obtenção

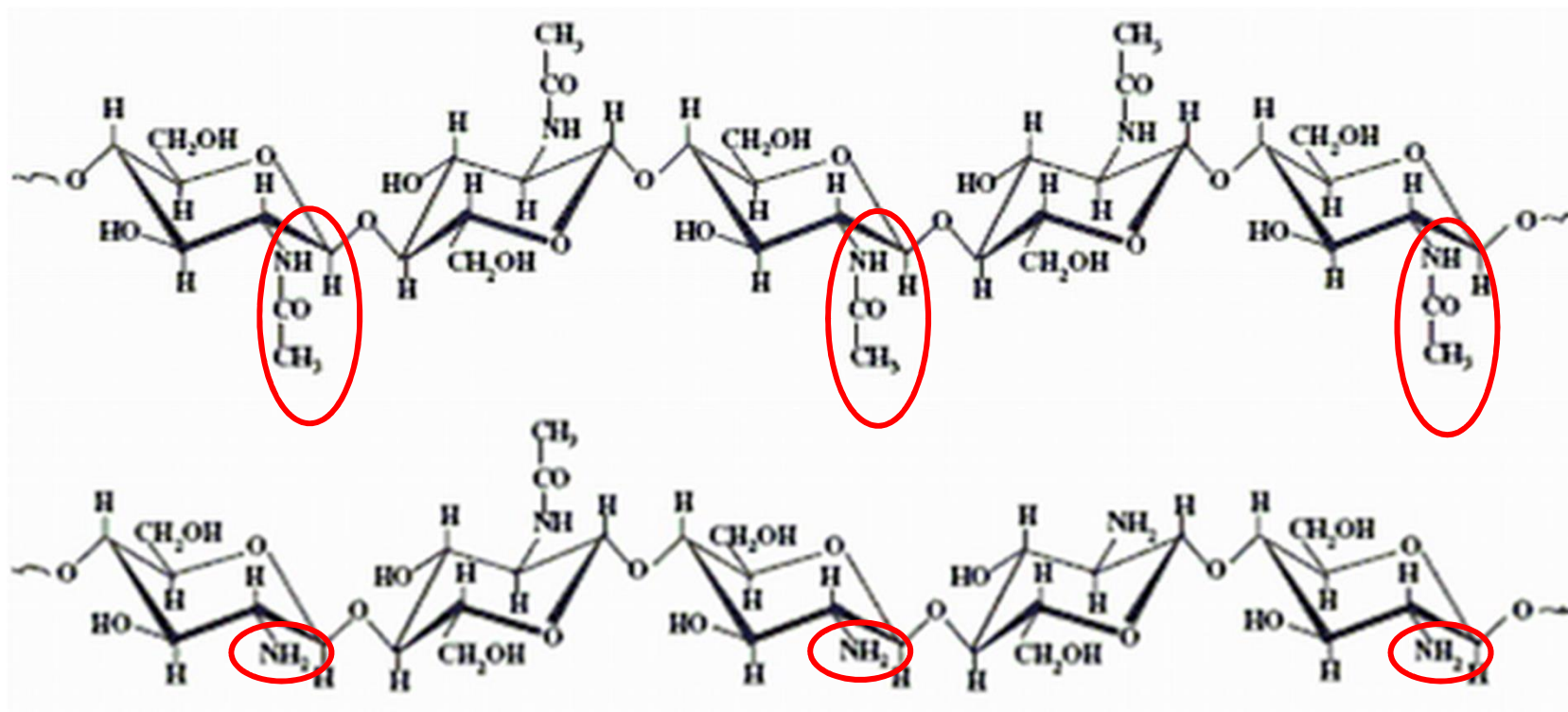


Obtenção



Quando a quitosana é preparada pela N-desacetilação da quitina, são feitos tratamentos com soluções alcalinas concentradas à altas temperaturas.

Obtenção



Desacetilação: parte das ligações N-acetil do polímero são rompidas com a formação de unidades de D-glucosamina que contém um grupo amínico livre, aumentando a solubilidade do polímero em meios ácidos aquosos.

Caracterização

Caracterização

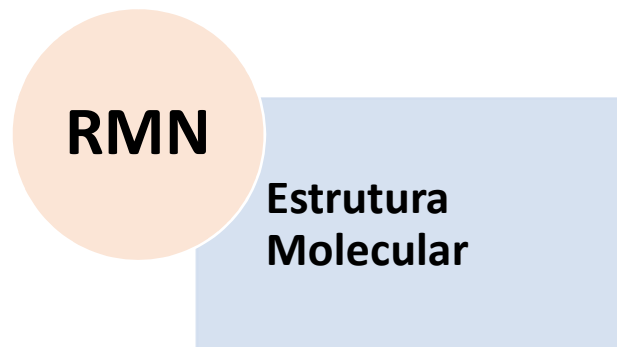
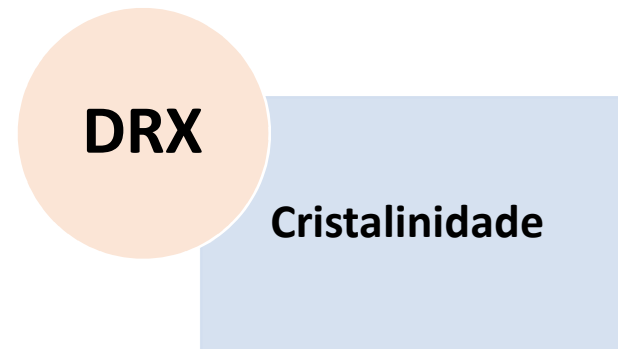
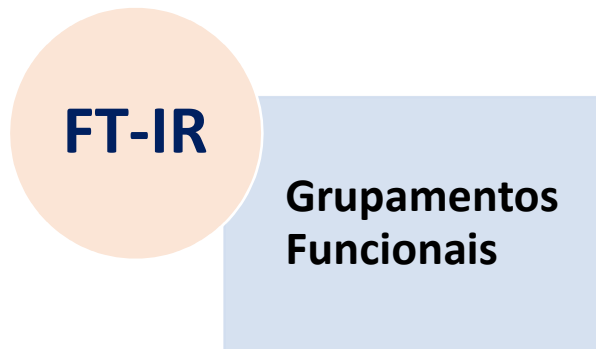
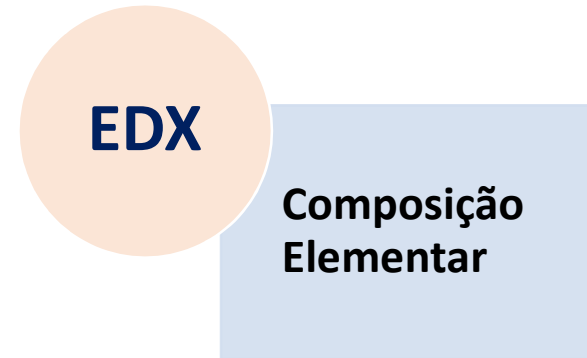
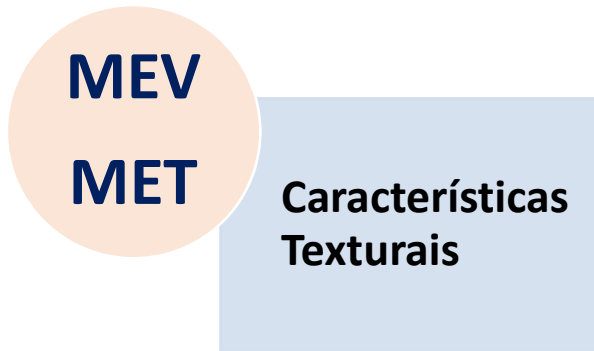
Durante o processo de obtenção da quitosana pode-se obter polímeros com diferentes características.

Variações nas propriedades físicas de materiais obtidos à base de quitosana podem ser atribuídos a parâmetros como **massa molar (MM)** e **grau de desacetilação (GD)**.

Esses parâmetros estão associados:

- à forma de obtenção do polímero;
- origem;
- modo de preparação material;
- temperatura;
- tempo de secagem, entre outros.

Análise das Interações



Análise das Interações

DLS

- Distribuição de Tamanho de Partícula;
- Diâmetro médio;
- Índice de Polidispersão

**DCS
TGA**

**Análises
térmicas.**

BET

- Área Superficial;
- Tamanho poros;
- Volume poros

pH_{ZPC}

**Ponto de
carga zero**

Cor

**Sistema
Minolta**

Análise dos filmes de quitosana e suas blendas

**Espes
sura**

**Dimensão
geométrica**

TR

**Propriedade
mecânica**

%A

**Propriedade
mecânicas**

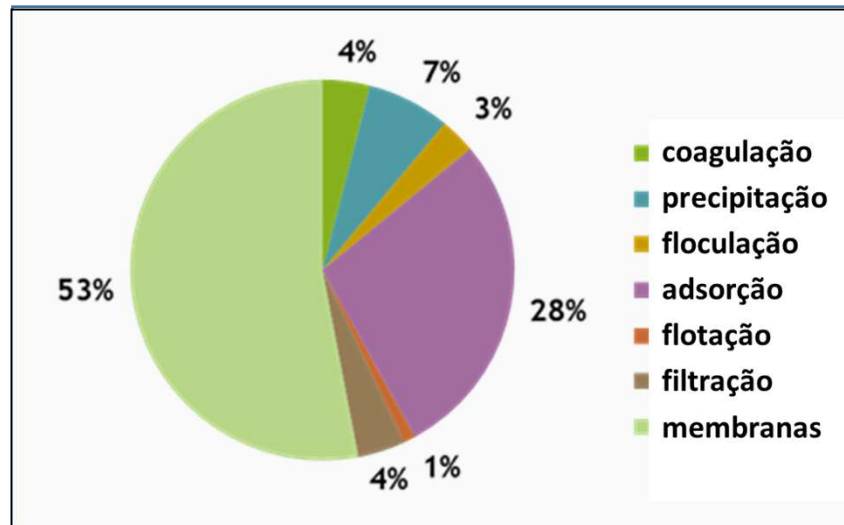
PVA

**Propriedade
barreira**

Aplicações

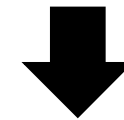
Aplicação de quitosana como adsorvente

Figura 1: Remoção de poluentes a partir de soluções



Fonte: Adaptado de Crini e Badot (2008).

Estudos de remoção de
corantes e íons metálicos



Processos de adsorção
descontínuos

Aplicação da quitosana em processos dinâmicos é limitada

- Características das partículas

Adsorção

Fenômeno no qual moléculas que estão presentes em um fluido, líquido ou gasoso, concentram-se espontaneamente sobre uma superfície sólida.

Adsorção Física

- Forças entre adsorvente e o adsorbato são maiores que do que entre as estruturas de adsorbato

Adsorção Química

- Formam-se ligações químicas entre o adsorvente e o adsorbato

Adsorção

A adsorção de corantes e íons metálicos deve ser realizada em sete grandes etapas:

- 1- Primeiramente deve se definir o melhor adsorvente;
- 2- em seguida, e realização um delineamento experimental: modelagem estatística;
- 3- após, uso de modelos de isothermas: condições de equilíbrio;
- 4- modelos cinéticos devem ser utilizados a fim de conhecer o comportamento do processo ao longo do tempo, e também obter informações sobre a natureza do processo;
- 5- equações termodinâmicas: verificar a espontaneidade do processo;
- 6- um fator muito importante a ser levado em consideração é o mecanismo pelo qual ocorre o processo de adsorção;
- 7- e finalmente para ter o completo domínio do processo é necessária a modelagem físico-matemática.

Adsorção

$$q_t = \frac{V(C_0 - C_t)}{m}$$

(1)

Cinética



- ◇ A velocidade em que a adsorção acontece.
- ◇ Fatores que influenciam a taxa de adsorção.

Isoterma



- ◇ Relação entre a adsorbato e adsorvente em uma T fixa.
- ◇ A capacidade máxima de adsorção de um determinado adsorvente.

Cinética de adsorção em fase líquida: Modelagem para sistemas descontínuos e contínuos

A cinética controla a eficiência do processo, fornece informações sobre a velocidade em que adsorção ocorre e sobre os fatores que influenciam a taxa de adsorção.

Adsorção em sistema descontínuo ou em batelada

- Modelos Empíricos;
- Modelos de Teóricos.

Adsorção em leito fixo

- Balanço de massa e modelagem das curvas de ruptura com base nos mecanismos de transferência de massa;
- Modelos empíricos baseados nas Curvas de Ruptura.

Adsorção em sistema descontínuo ou em batelada

Modelos Teóricos:

- Modelo de Transferência de Massa Externo
- Modelo de Difusão em Sólido Homogêneo (HSDM)
- Modelo de Difusão Heterogêneo Superficial/Volumétrica

Efeito da Resistência Externa à transferência de massa

Nº de Biot:

$$Bi = \frac{k_f d_p C_0}{2\rho_p D_{int} q_0}$$

Modelos Teóricos

$$\frac{dC_t}{dt} = -k_f S_A (C_t - C_{st}) \quad (13)$$

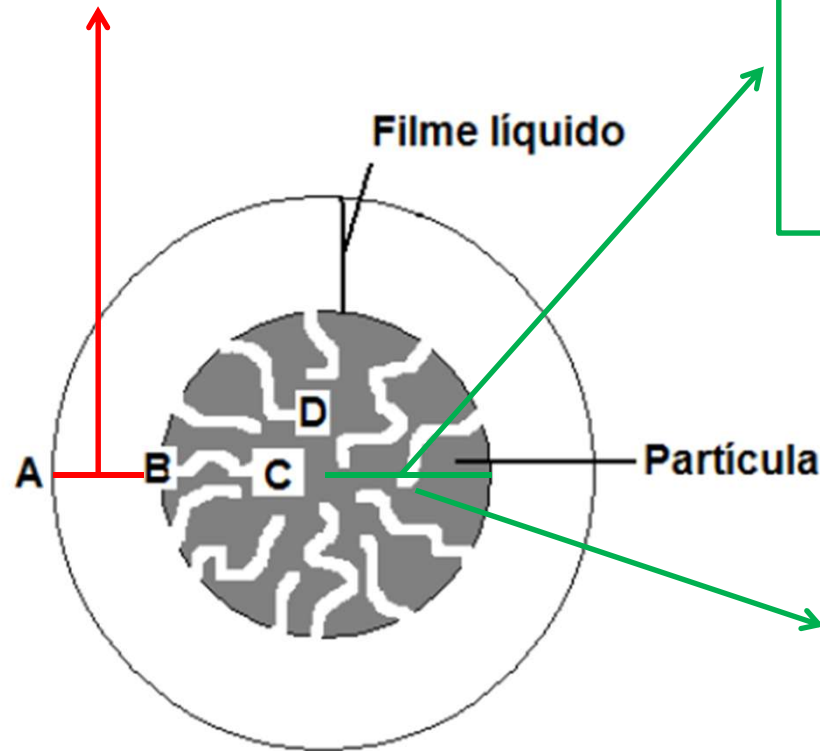


Figura 3: Regiões de transferência de massa.

$$q(r,0) = 0 \quad (14a)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \left(\frac{1}{r^2} \right) \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 D_{int} \frac{\partial q}{\partial r} \right) \quad (14) \quad q(R_p, t) = q_e \quad (14b)$$

$$\left(\frac{\partial q}{\partial r} \right)_{r=0} = 0 \quad (14c)$$

$$\epsilon_p \frac{\partial C}{\partial t} + \rho_p \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \left(D_p \frac{\partial C}{\partial r} + D_s \rho_p \frac{\partial q}{\partial r} \right) \right] \quad (15)$$

$$C = 0(t = 0, r) \quad (15a)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = 0(t, r = 0) \quad (15b)$$

$$D_p \frac{\partial C}{\partial r} + D_s \rho_p \frac{\partial q}{\partial r} = k_f (C_t - C_{st})(t, r = R_p) \quad (15c)$$

Estudos no LTI/EQA/FURG



Rio Grande é um polo pesqueiro que produz grande quantidade de resíduos. A utilização dos resíduos de camarão para a obtenção de quitosana pode trazer vantagens econômicas e a redução da eliminação de poluentes deste gênero.



A quitosana pode ser modificada fisicamente, apresentando diferentes formas e estruturas.

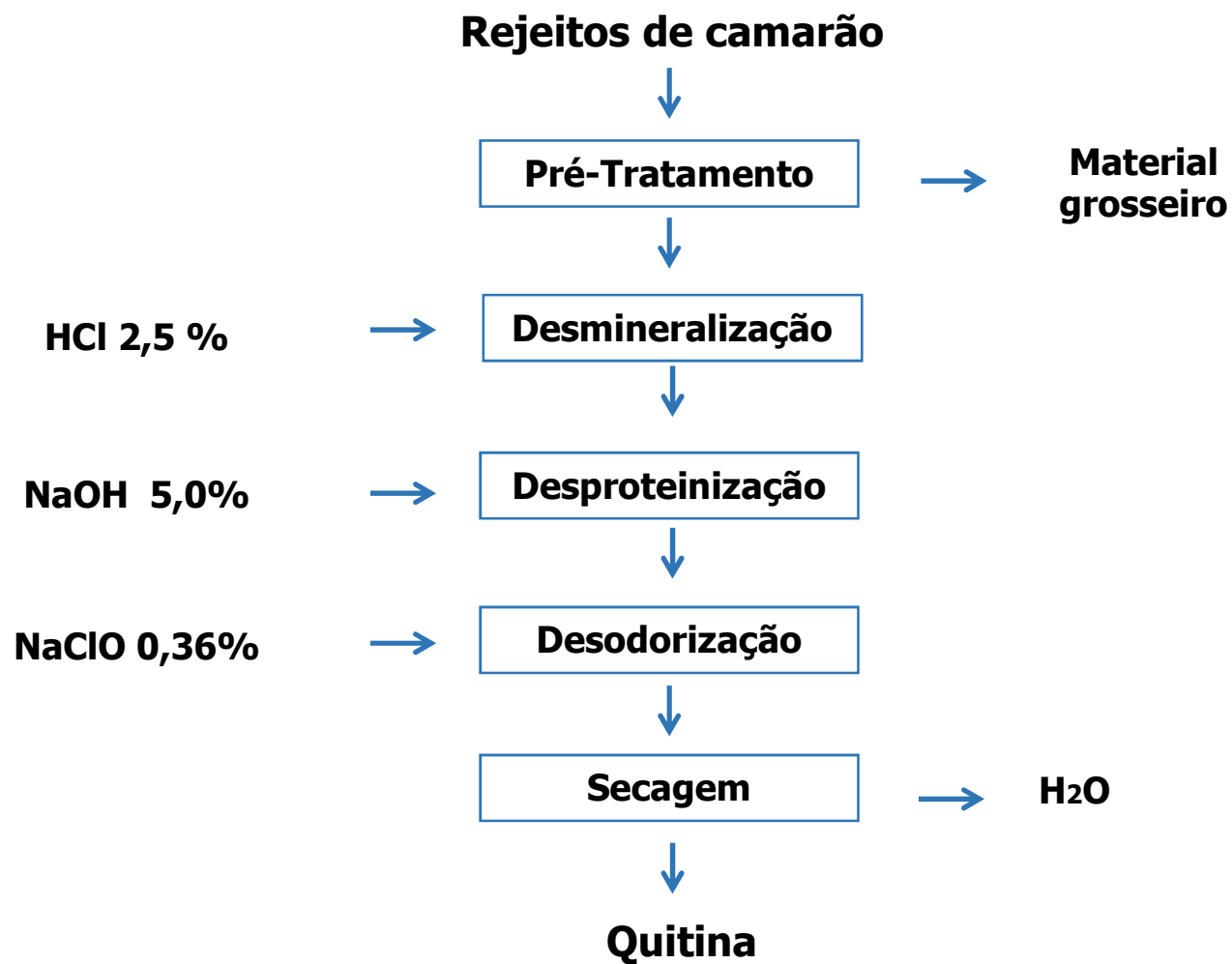


A FURG é um dos mais importantes centros de estudos multidisciplinares sobre ecossistemas costeiros do Brasil e América do Sul. Devido à sua localização geográfica desenvolve inúmeros projetos de pesquisas relacionados à valoração de Recursos Hidrobiológicos.

OBTENÇÃO E MODIFICAÇÃO DE QUITOSANA

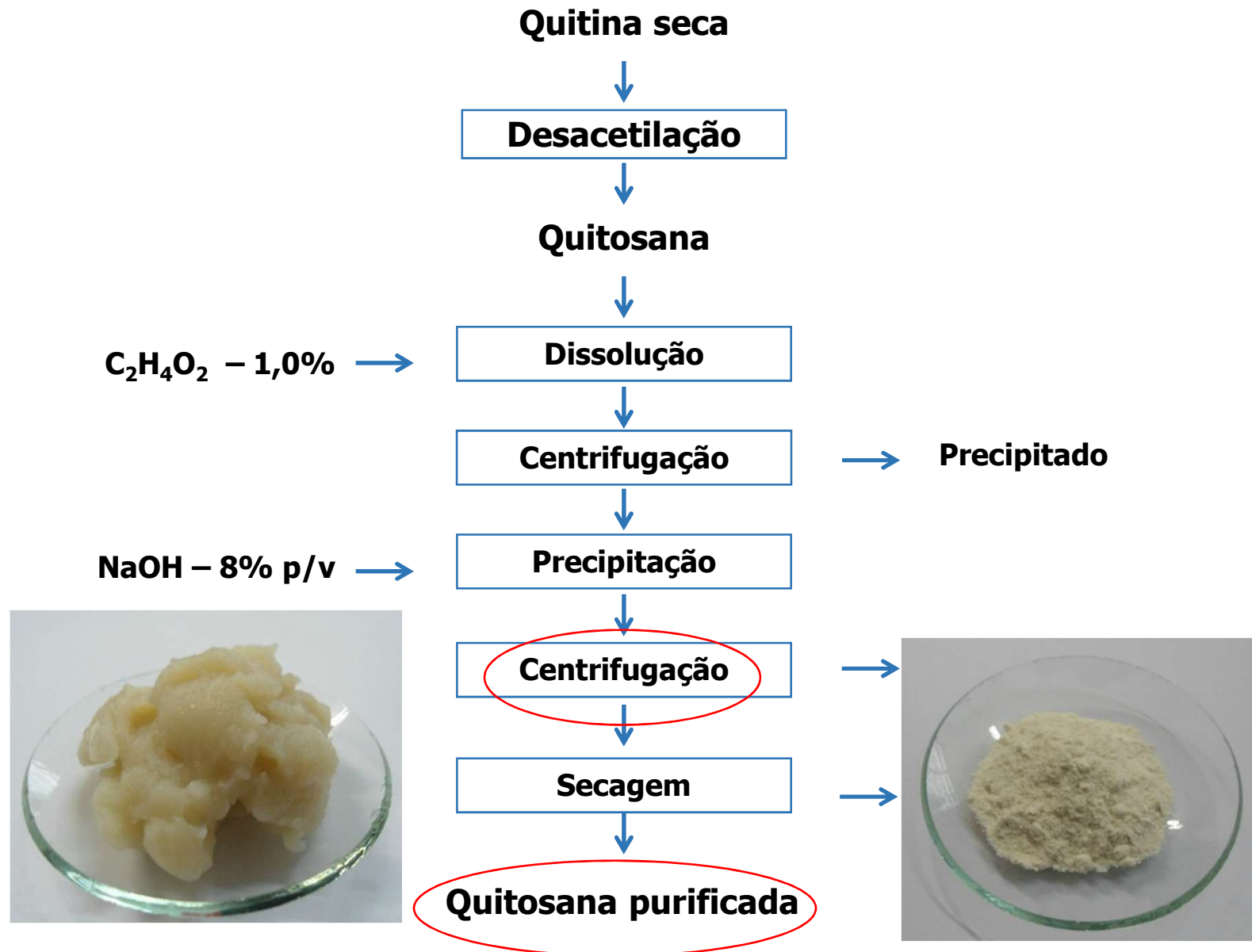
Estudos de otimização do processo de produção da quitosana de resíduos da indústria pesqueira (camarão). Dentro desta linha foram avaliadas as otimizações do processo estudado em bancada, sendo ampliado para escala piloto.

Figura 6: Fluxograma do processo de extração da quitina.



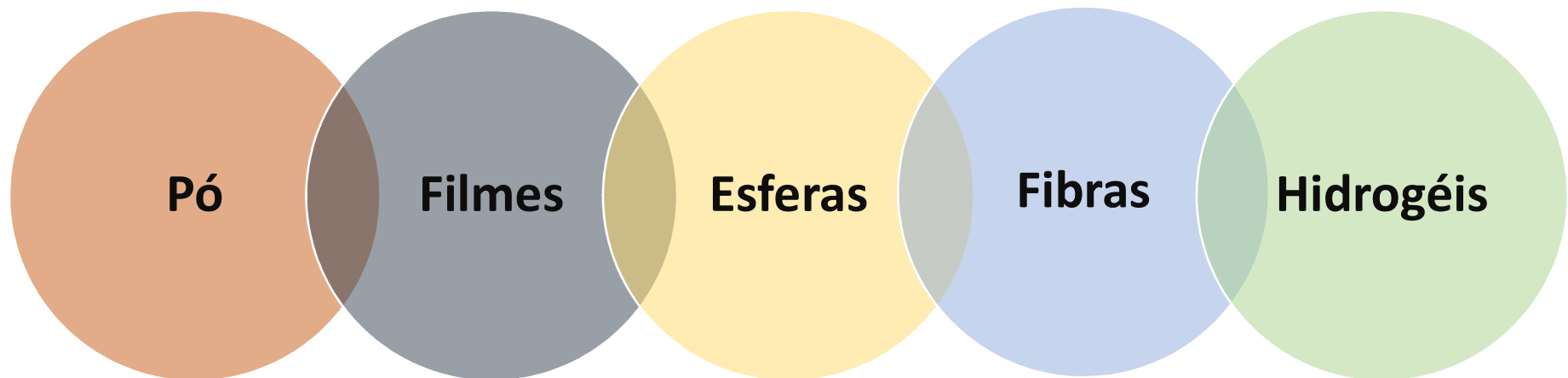
Fonte: Moura, C. (2008).

Figura 7: Fluxograma do processo de obtenção de quitosana.



Fonte: Moura, C. (2008).

Remoção de corantes e íons metálicos por adsorção a quitosana tem sido empregada em diferentes formas físicas:



Produção do grupo no tema Quitosana/Adsorção/Tratamento de Efluentes.

- **Mestrados concluídos no Tema (2004/2018): 13 dissertações.**
- **Doutorados concluídos no Tema (2009/2018): 7 teses.**
- **Pós-doutorados concluídos no Tema (2013/2018): 2 orientados.**

Periódicos Internacionais (altos JCR) publicados (2007/2018): 49 artigos.

Adsorbato: Corantes alimentícios

Azul Indigotina:

I.C. 73015
466,3 g mol⁻¹
 $\lambda_{\text{máx}}$ 610 nm

Vermelho 40:

I.C. 19140
496,4 g mol⁻¹
 $\lambda_{\text{máx}}$ 500 nm

Amarelo tartrazina:

I.C. 19140
534.4 g mol⁻¹ $\lambda_{\text{máx}}$
425 nm

Amarelo crepúsculo:

I.C. 15985
452.4 g mol⁻¹
 $\lambda_{\text{máx}}$ 480 nm

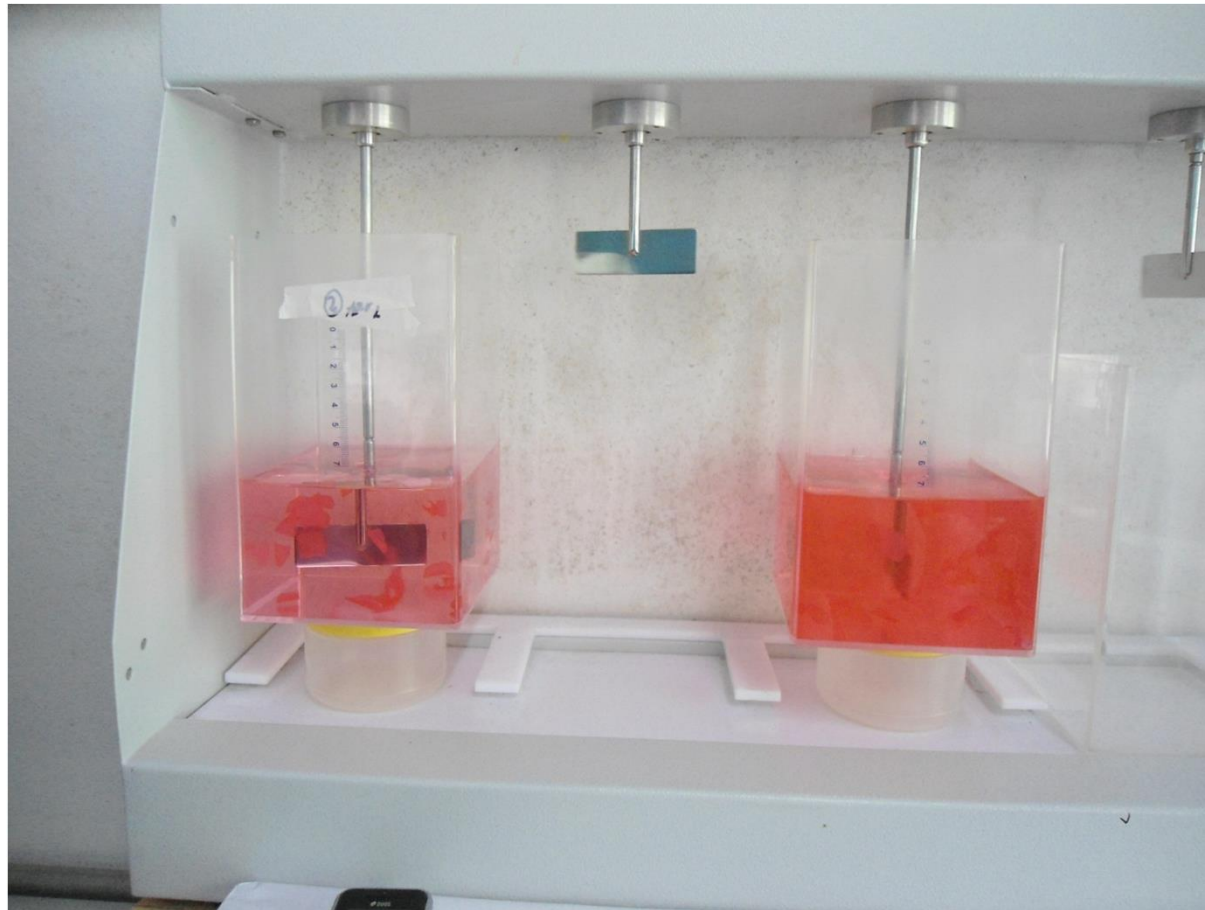
Vermelho amaranto:

I.C. 16185
604.5 g mol⁻¹
 $\lambda_{\text{máx}}$ 521 nm

SOLUÇÃO FILMOGÊNICA = RECOBRIMENTO DE FRUTAS



ADSORÇÃO DE CORANTES COM DIFERENTES FORMAS DE QUITOSANA



ELABORAÇÃO DE FILMES BIOPOLIMÉRICOS DE QUITOSANA, SPIRULINA E SUA BLENDAS (50%/50%)



Quitosana



Spirulina



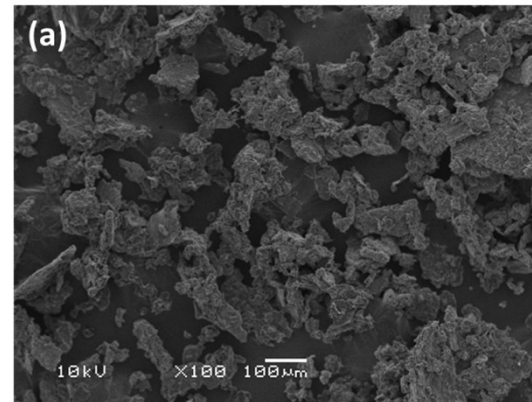
Blenda quitosana:*Spirulina* (50/50)

Uma das suas vantagens mais interessantes é a de poder ser modificada fisicamente, apresentando diferentes formas e estruturas.

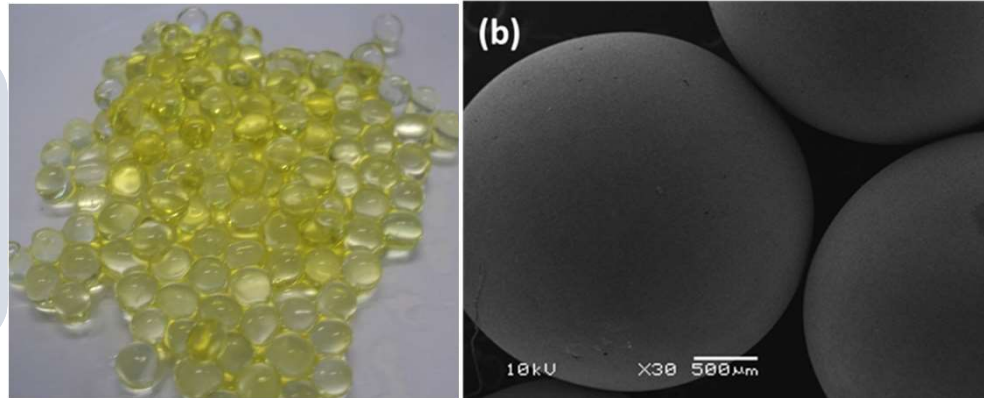
**Quitosana em
pó**



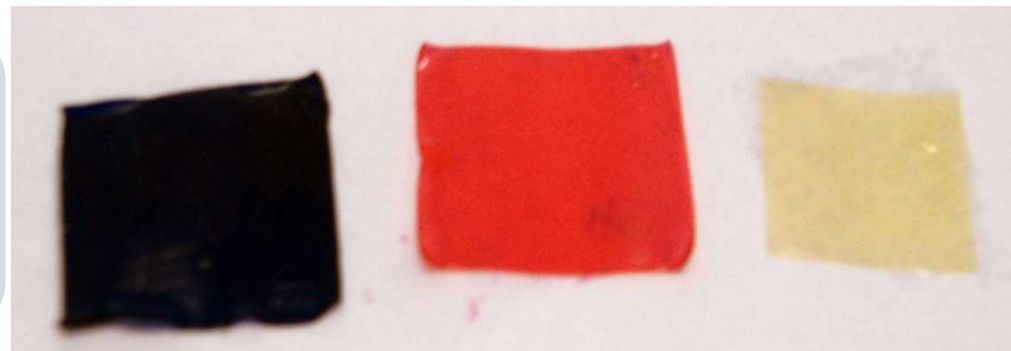
**Quitosana
modificada com
cianoguanidina**



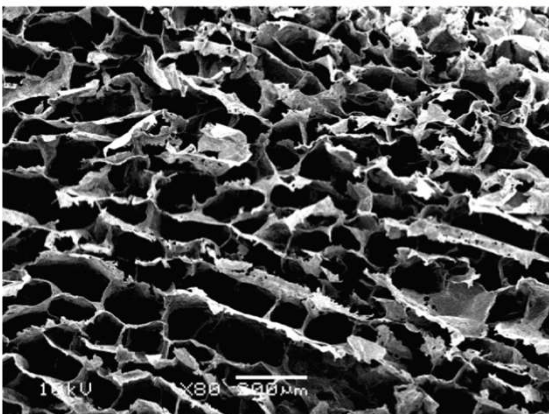
**Esferas de
vidro**



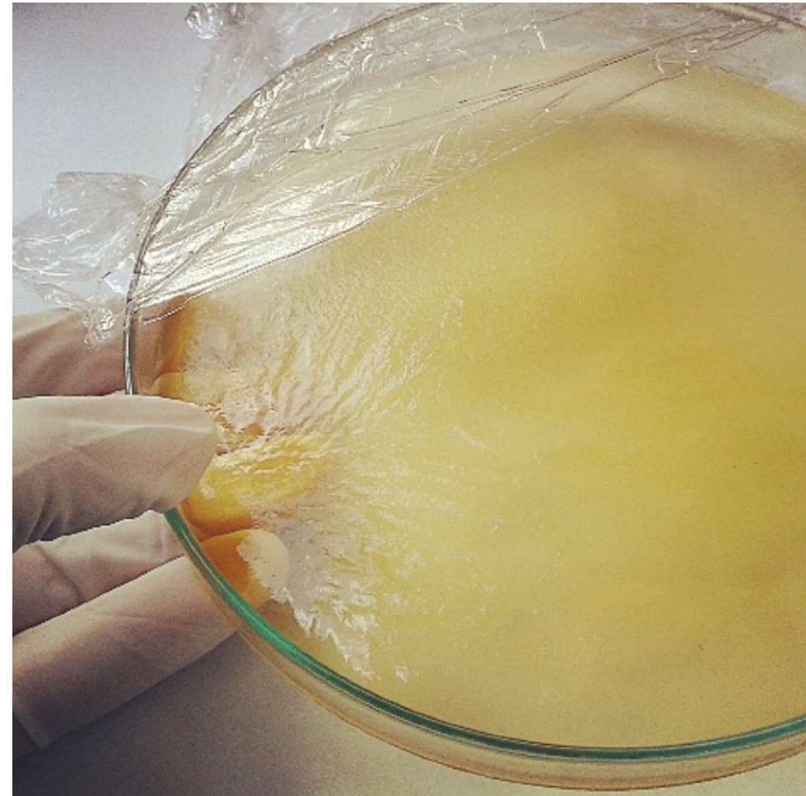
**Filmes
poliméricos**



Esponja



Hidrogel



ESPONJAS DE QUITOSANA = SOLUÇÕES AQUOSAS DE CORANTES



ESPONJAS DE QUITOSANA = SOLUÇÕES AQUOSAS DE CORANTES

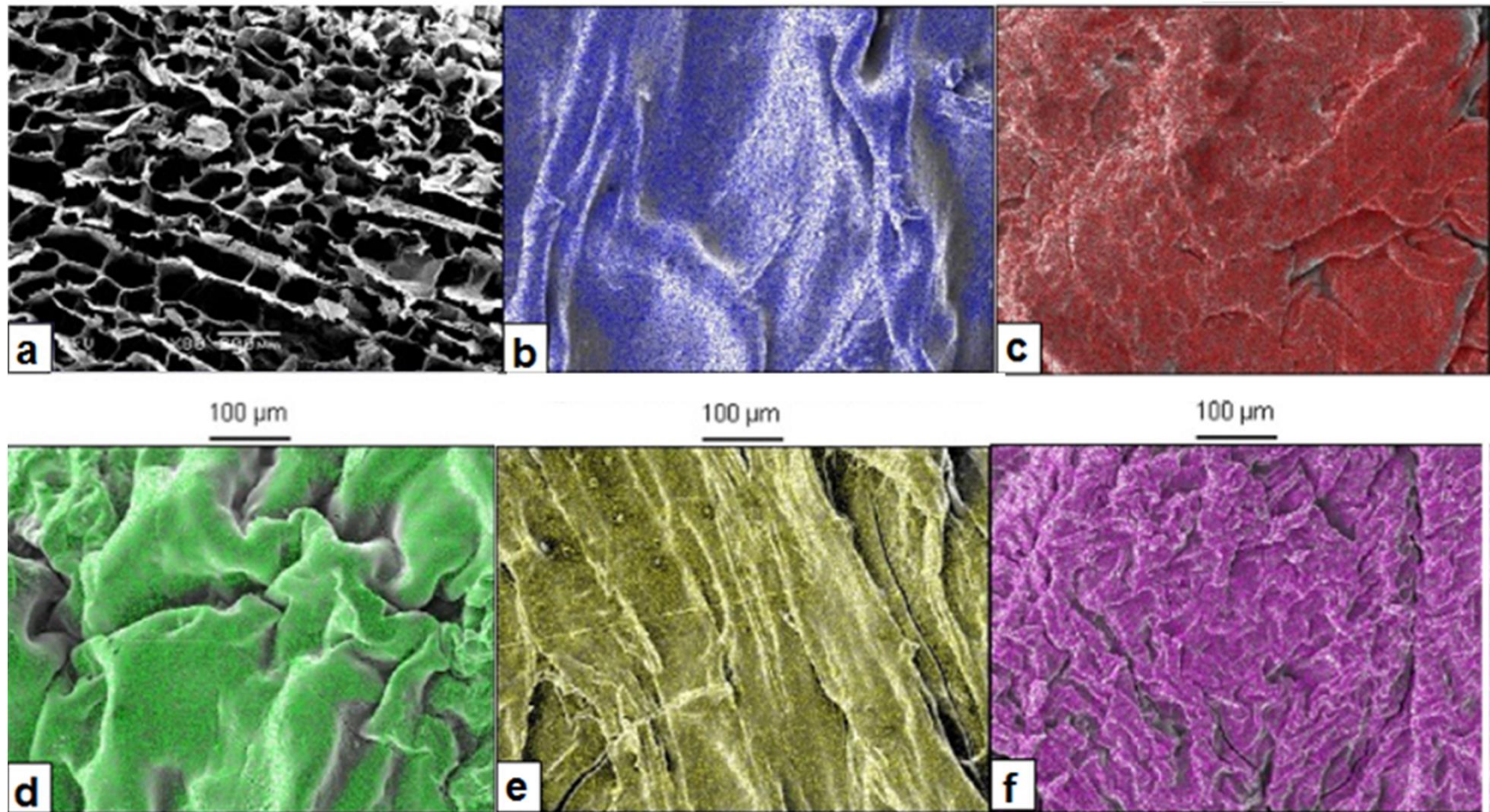


Tabela: Valores de área superficial específica (A_s), porosidade (ϵ_p) e volume de poros (V_p) da esponja de quitosana.

Características	Valores*
A_s ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	1135 ± 2
ϵ_p (%)	$92,2 \pm 1,2$
V_p ($\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$)	$7,9 \times 10^{-3} \pm 1,9 \times 10^{-3}$

*média \pm desvio padrão (n=5).

Pó de quitosana

$$A_s = 4,2 \text{ m}^2 \text{g}^{-1}$$

$$V_p = 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1}$$

Grânulos de quitosana

$$A_s = 30\text{-}40 \text{ m}^2 \text{g}^{-1}$$

Pérolas de hidrogel de quitosana

$$\epsilon_p = 85\%$$

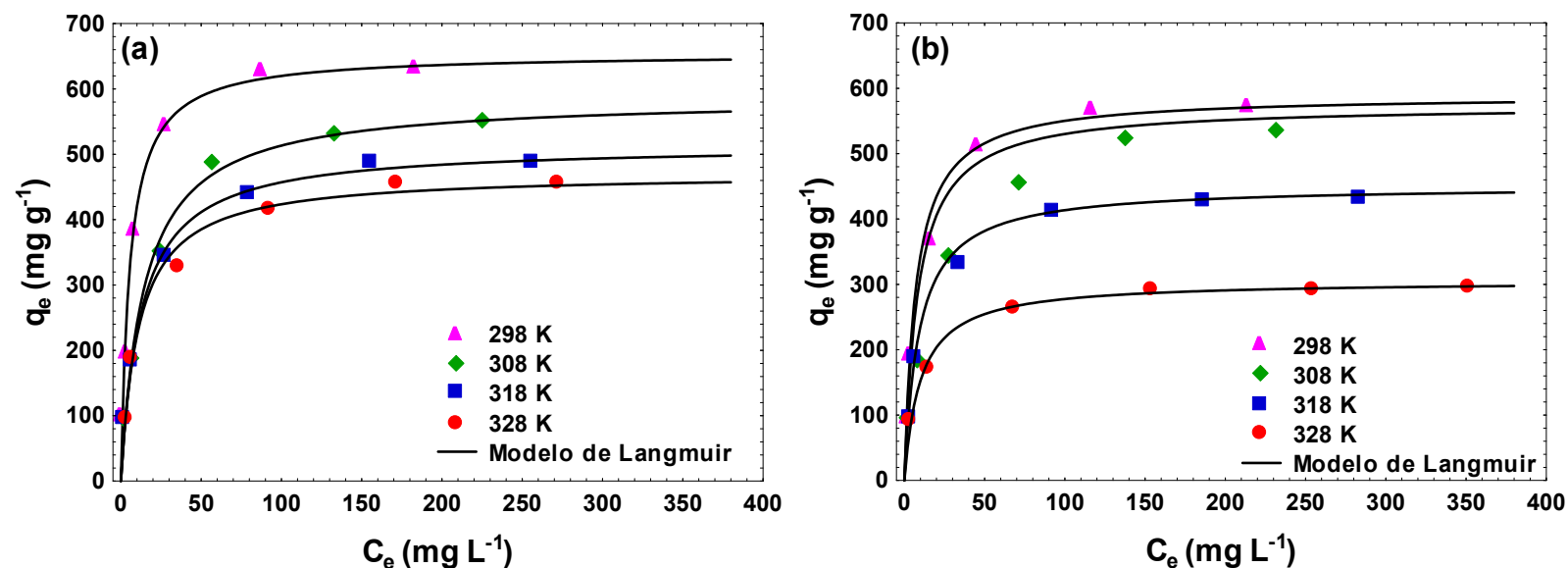
Flocos de quitosana

$$A_s = 4\text{-}6 \text{ m}^2 \text{g}^{-1}$$

Mesoestrutura quitosana-grafeno

$$A_s = 603,2 \text{ m}^2 \text{g}^{-1}$$

Figura 7: Curvas de equilíbrio da adsorção do RB5: (a) pó de quitosana e (b) filme de quitosana (▲ 298 K; ◆ 308 K; ■ 318 K; ● 328 K).



ISOTERMAS DO TIPO I

Ambos apresentam numerosos sítios de adsorção de fácil acesso, e que a saturação ocorreu na monocamada

Figura 8: Dados experimentais de equilíbrio para adsorção de vanádio por filme de quitosana

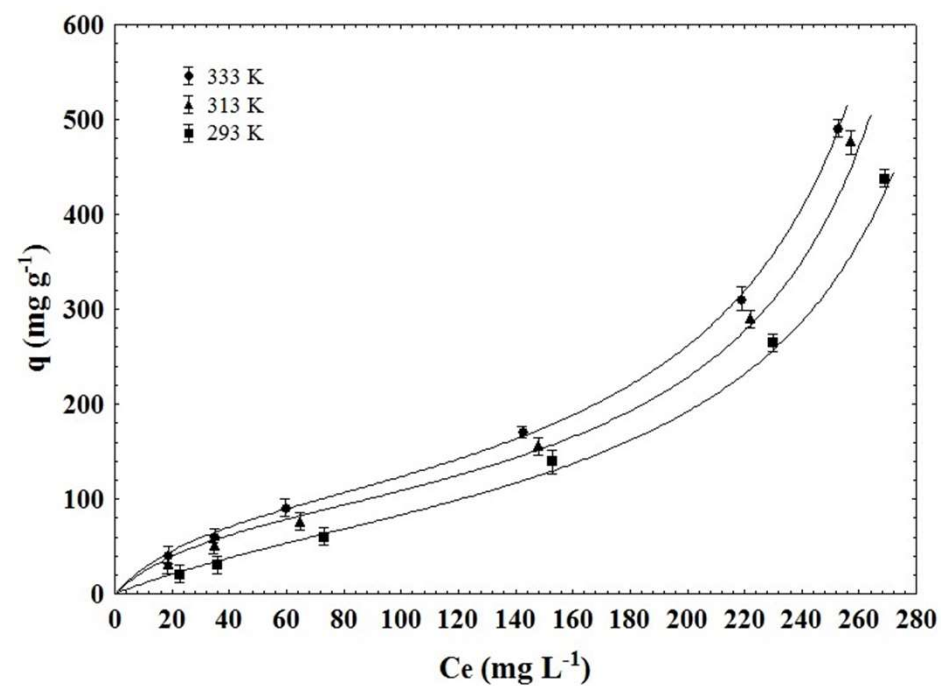
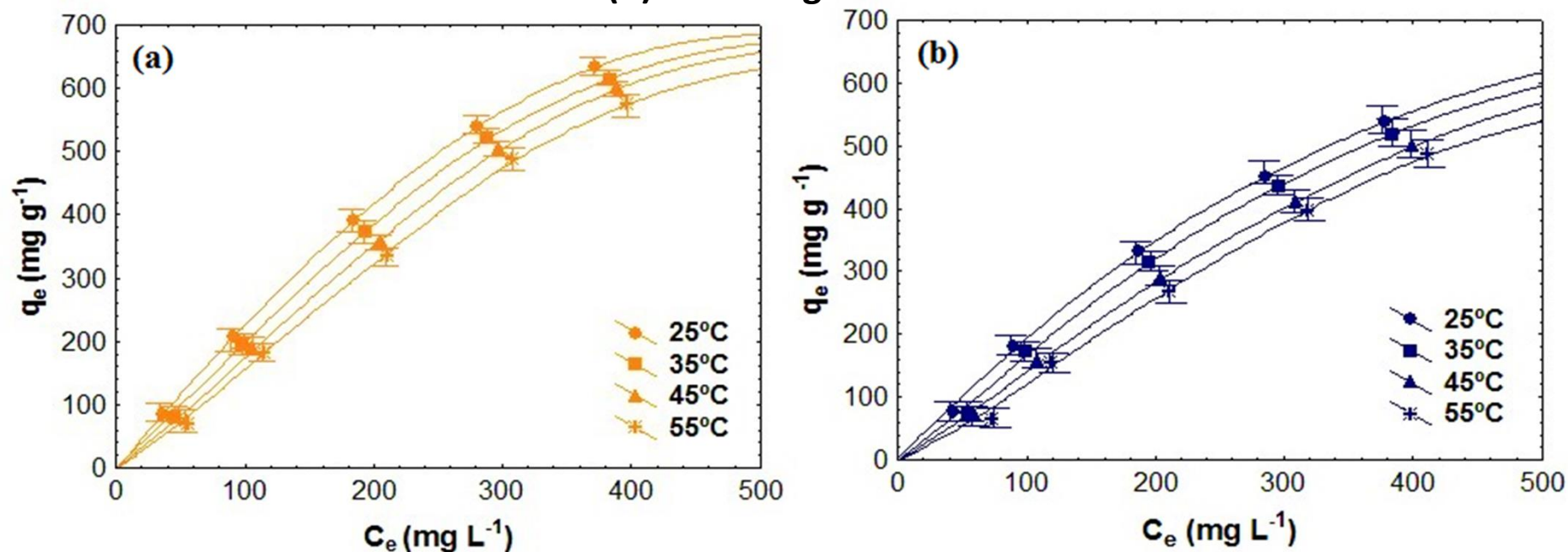


Figura 10: Isotermas de equilíbrio de adsorção para os corantes em sistema binário utilizando quitosana em pó modificada com cianoguanidina: (a) amarelo tartrazina, e (b) azul indigotina.



Modelo de Langmuir estendido

$$q_{e,i} = \frac{q_{m,i} K_{L,i} C_{e,i}}{1 + \sum_{i=1}^n K_{L,i} C_{e,i}}$$

Figura 10: Isotermas de equilíbrio de adsorção de esponja de quitosana do corante amarelo crepúsculo.

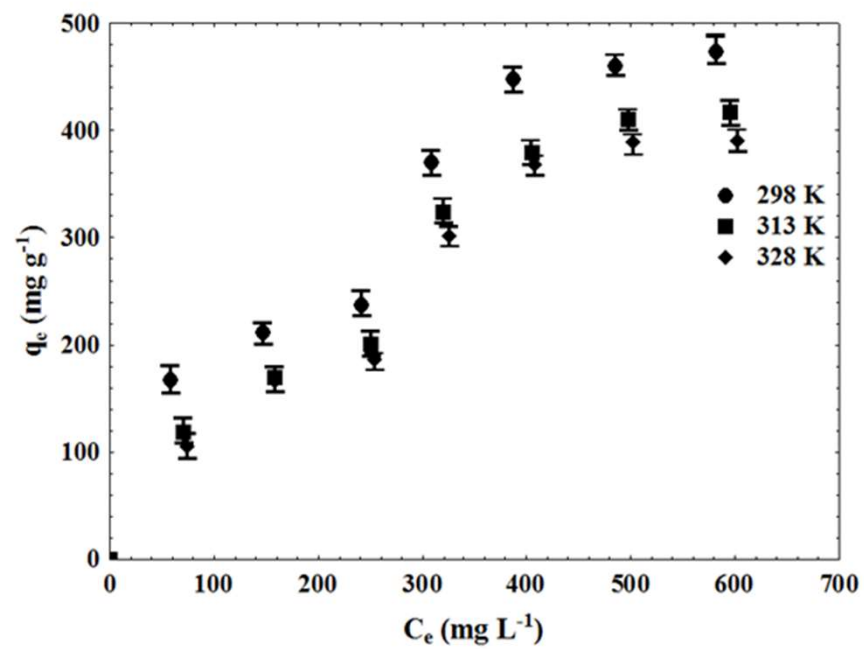


Figura 11: Curvas cinéticas da adsorção do RB5: (a) pó de quitosana e (b) filme de quitosana (▲ 298 K; ◆ 308 K; ■ 318 K; ● 328 K).

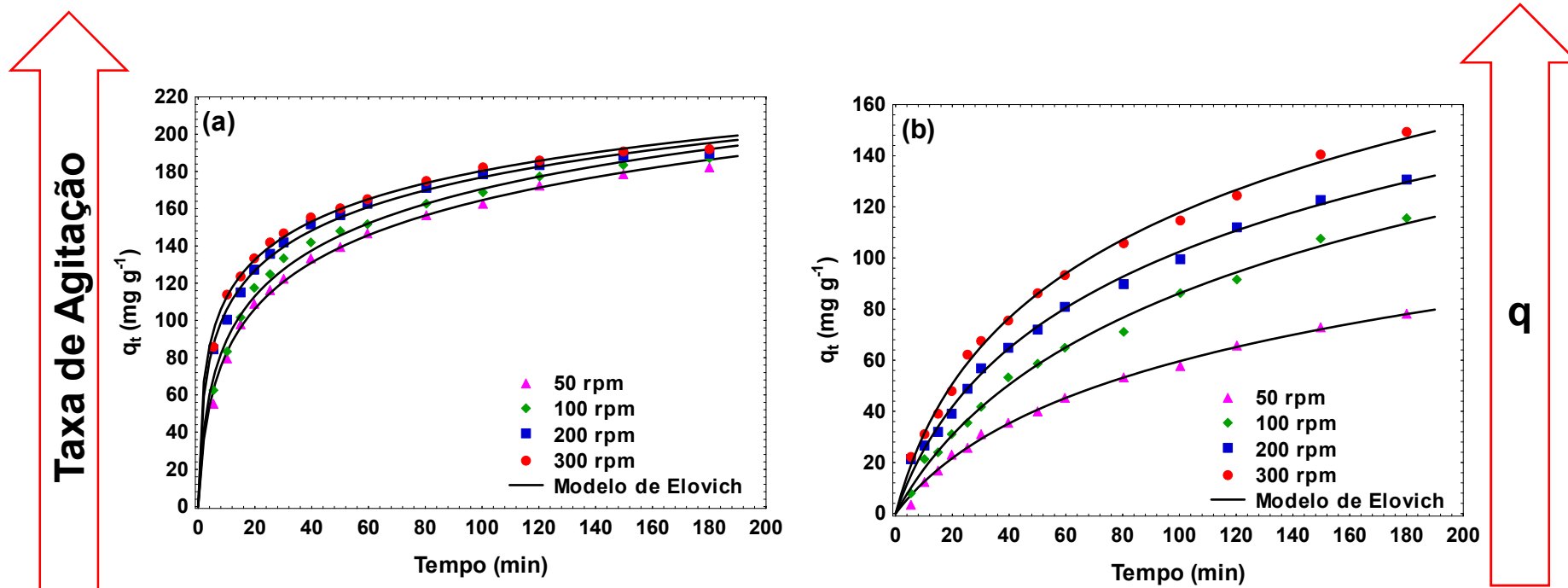


Figura 12: Comportamento cinético para adsorção do vanádio por filmes de quitosana.

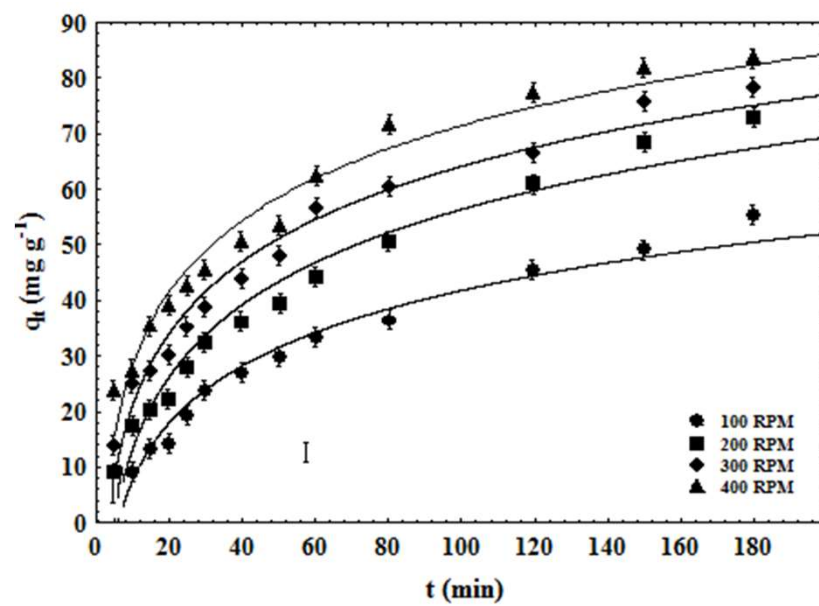
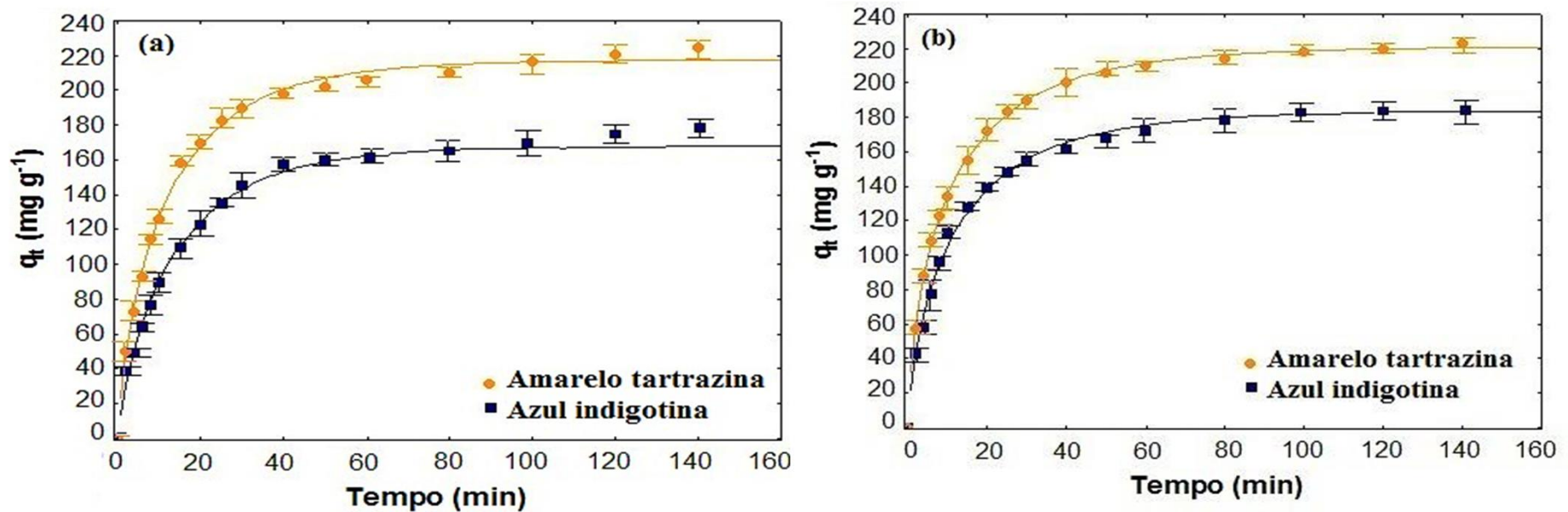


Figura 13: Efeito da taxa de agitação na cinética de adsorção dos corantes amarelo tartrazina e azul indigotina em sistema binário: (a) 50 rpm, (b) 110 rpm.



$$C_A = (k_{B2}d_1 - K_{B1}d_2)/(k_{A1}K_{B2} - K_{A2}K_{B1})$$

$$C_B = (k_{A1}d_2 - K_{A2}d_1)/(k_{A1}K_{B2} - K_{A2}K_{B1})$$

Figura: Curvas cinéticas para a adsorção utilizando hidrogel com glutaraldeído (HyCG) e hidrogel com glutaraldeído e carvão ativado (HyCC) : (a) corante vermelho 40 (FR17) and (b) corante azul brilhante (FBL2).

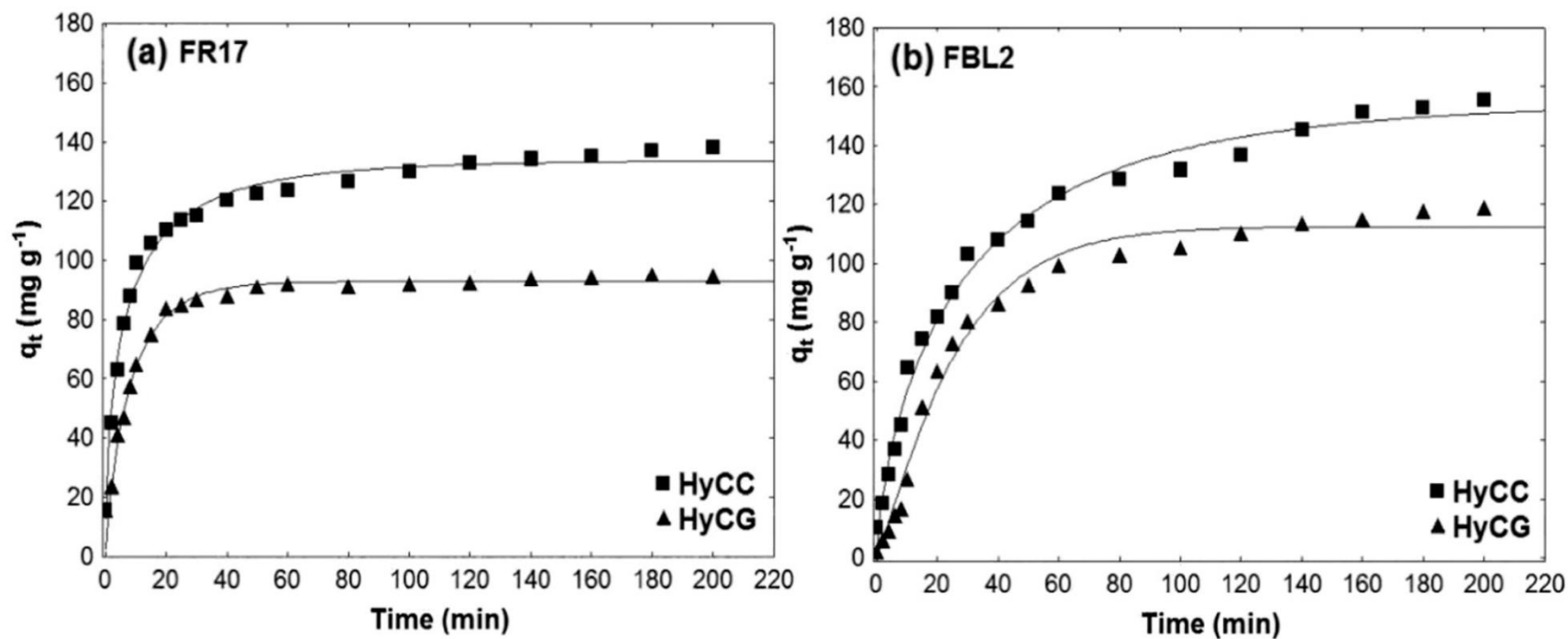


Tabela - Propriedades mecânicas e espessura dos filmes dos filmes de quitosana, *Spirulina* e suas blendas

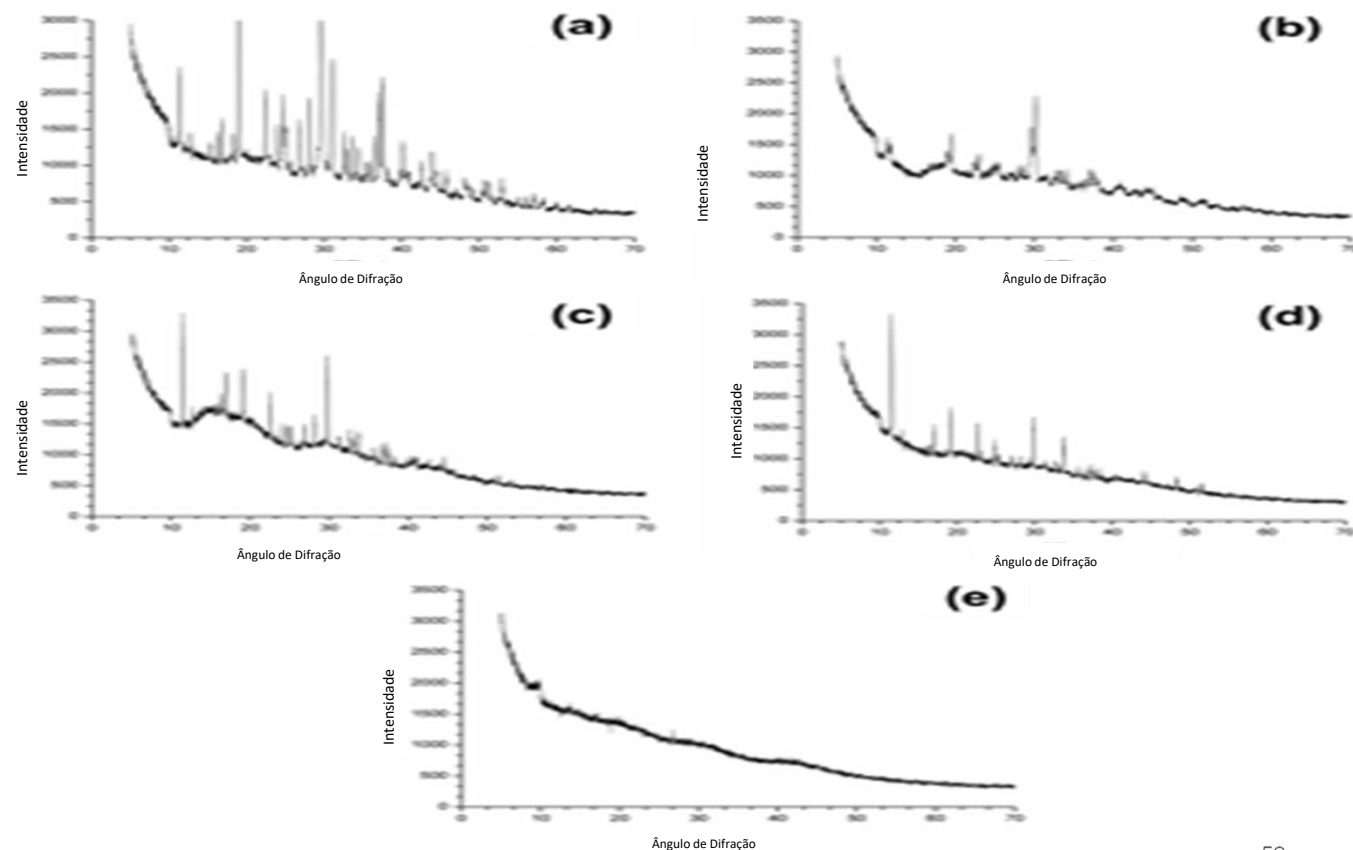
Filmes	Espessura (mm)	Resistência à tração (MPA)	Alongamento (%)
100%Q	0,117 ± 0,013 ^a	28,3 ± 1,2 ^a	14,9 ± 0,9 ^a
75%Q-25%S	0,114 ± 0,013 ^a	15,5 ± 0,9 ^b	5,7 ± 0,6 ^b
50%Q-50%S	0,107 ± 0,003 ^a	13,9 ± 1,0 ^b	4,7 ± 0,4 ^b
25%Q-75%S	0,101 ± 0,008 ^{a,b}	8,6 ± 0,8 ^c	3,4 ± 0,6 ^c
100%S	0,092 ± 0,004 ^b	3,5 ± 0,6 ^d	1,1 ± 0,3 ^d

Legenda: Q=quitosana; S=*Spirulina* sp. Letras diferentes na mesma coluna tem diferença significativa (p,0,05).

Características dos filmes

Difração raios-X (DRX)

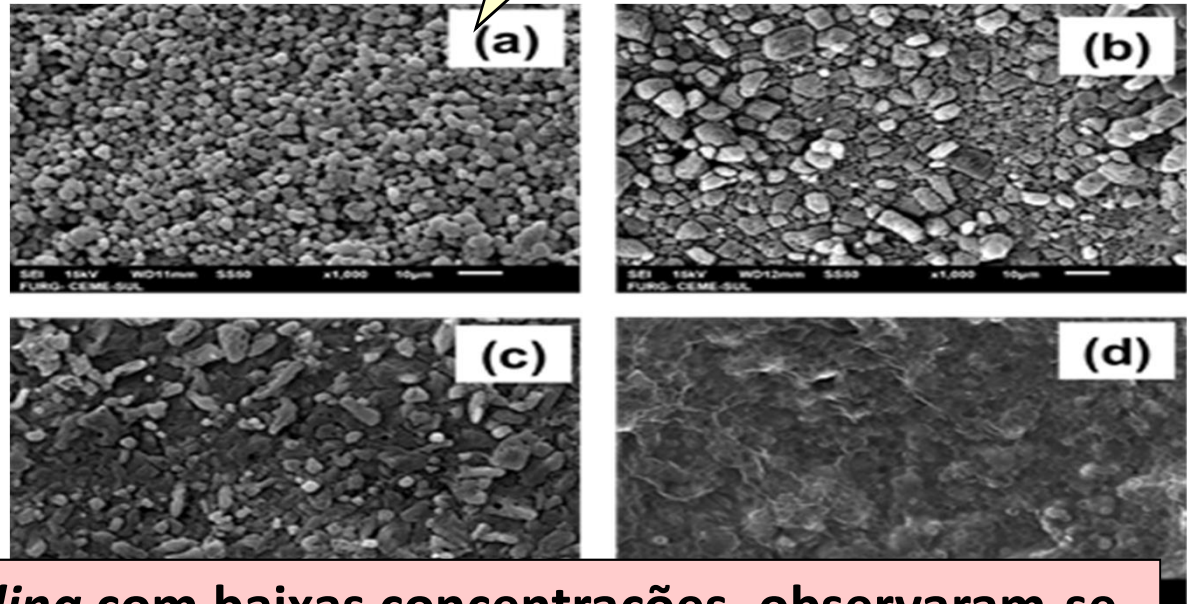
Figura –
Difratogramas dos
diferentes tipos de
filmes: (a) 100%
quitosana, (b) 75%
quitosana/ 25%
Spirulina, (c) 50%
quitosana/50%
Spirulina, (d) 25%
quitosana/75%
Spirulina e (e) 100%
Spirulina.



Características dos filmes

Microscopia eletrônica de varredura

Figura 9 – Imagens da microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos diferentes tipos de filmes: (a) 100% quitosana, (b) 75% quitosana/25% *Spirulina*, (c) 50% quitosana/50% *Spirulina*, (d) 25% quitosana/75% *Spirulina*.



Nos filmes de *Spirulina* com baixas concentrações, observaram-se grumos maiores (Figuras 9 (b, c)) já em altas concentrações de *Spirulina* (Figura 9 (d)), a superfície tornou-se lisa.

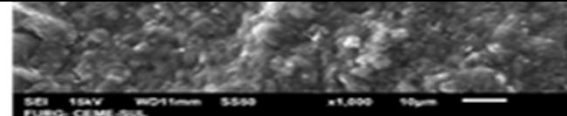
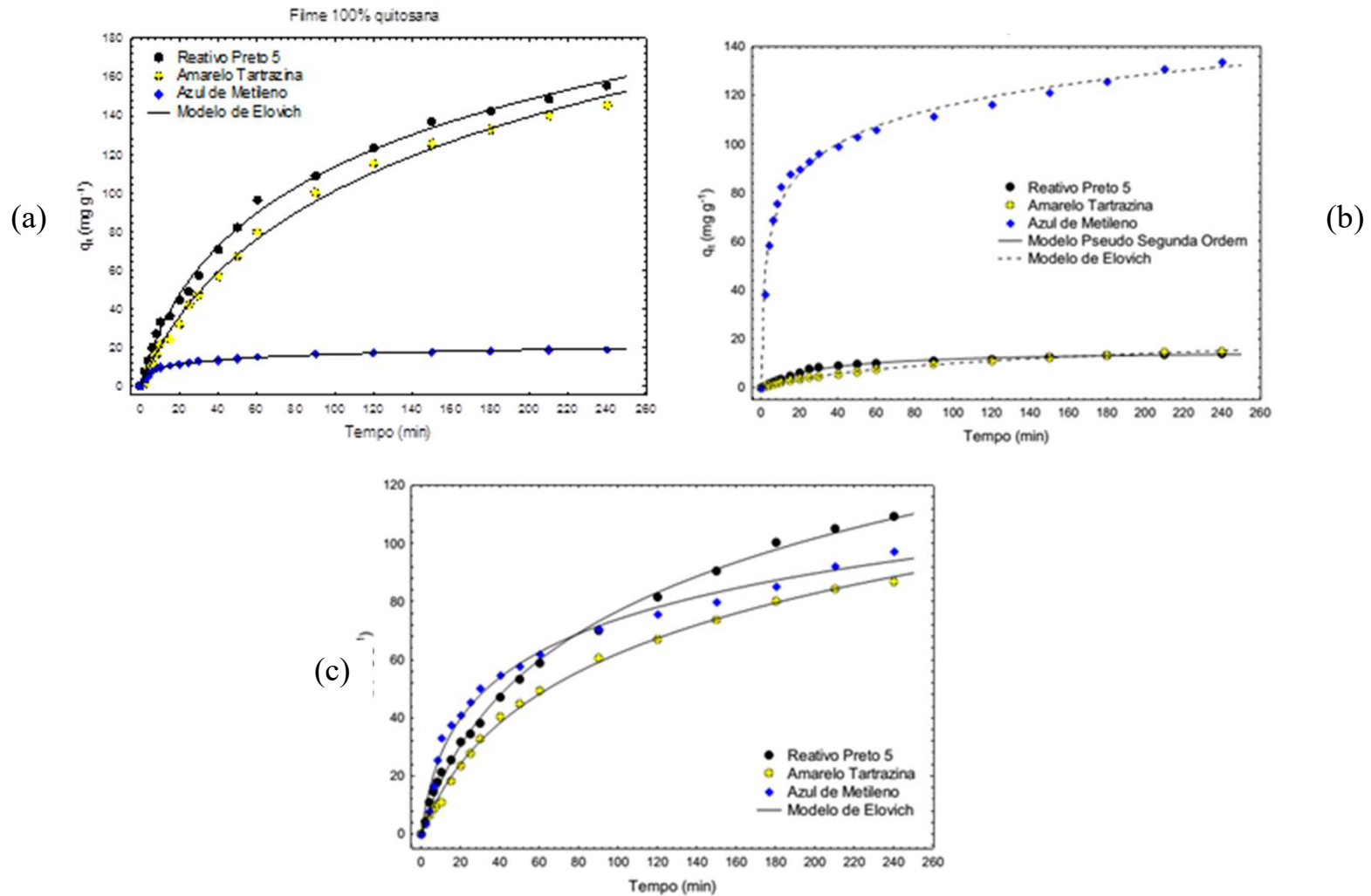


Figura 11 – Curvas cinéticas de bio sorção de três corantes: (a) filme 100% quitosana, (b) filme 100% *Spirulina* e (c) filme 50% quitosana e 50% *Spirulina*.



Modelagem Estatística

MÉTODO DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

CARACTERIZAÇÃO DE MODELOS DE SEGUNDA ORDEM:

Para a determinação da condição ótima de operação de um processo, a equação do modelo ajustado aos dados é:

$$\bar{Y} = \bar{\beta}_0 + \sum_{i=1}^K \bar{\beta}_i X_i + \sum_{i=1}^K \bar{\beta}_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^K \sum_{j=i+1}^K \bar{\beta}_{ij} X_i X_j \quad (36)$$

- Sendo $\bar{\beta}_0, \bar{\beta}_i, \bar{\beta}_{ii}, \bar{\beta}_{ij}$ os coeficientes; X_i e X_j representam os fatores de estudo (p.ex. pH e dosagem de filme) em suas formas codificadas.
- A forma da superfície de resposta dada por este modelo irá depender dos valores dos seus coeficientes de ajuste.

Figura 19: Superfícies de resposta para a adsorção dos corantes amarelo crepúsculo.

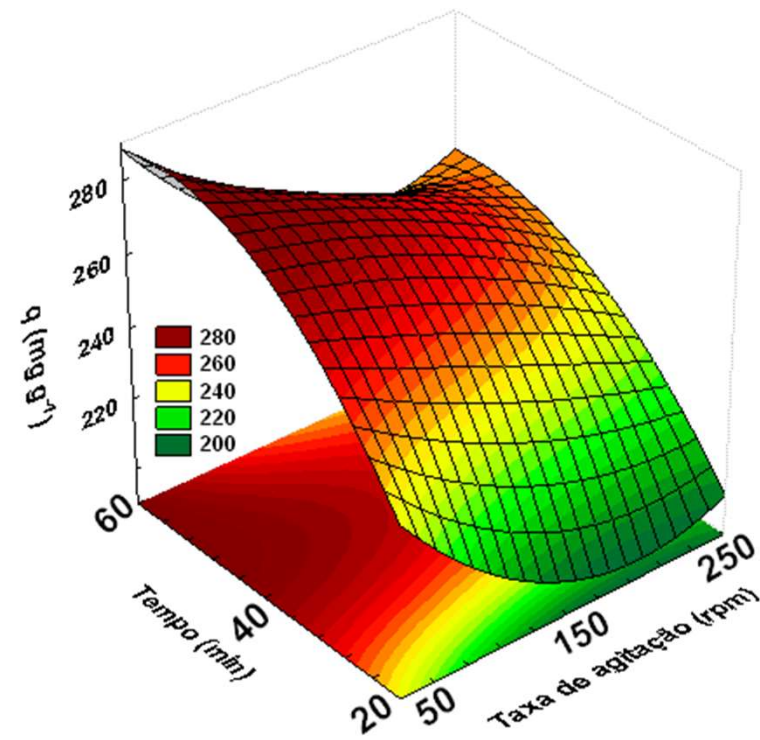


Figura 14: Superfície de resposta para a capacidade de adsorção do vanádio por filme de quitosana.

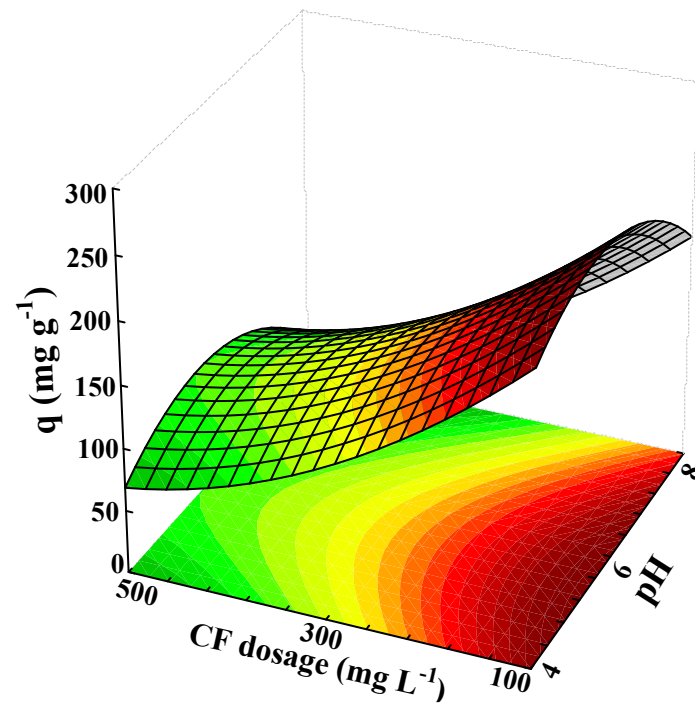
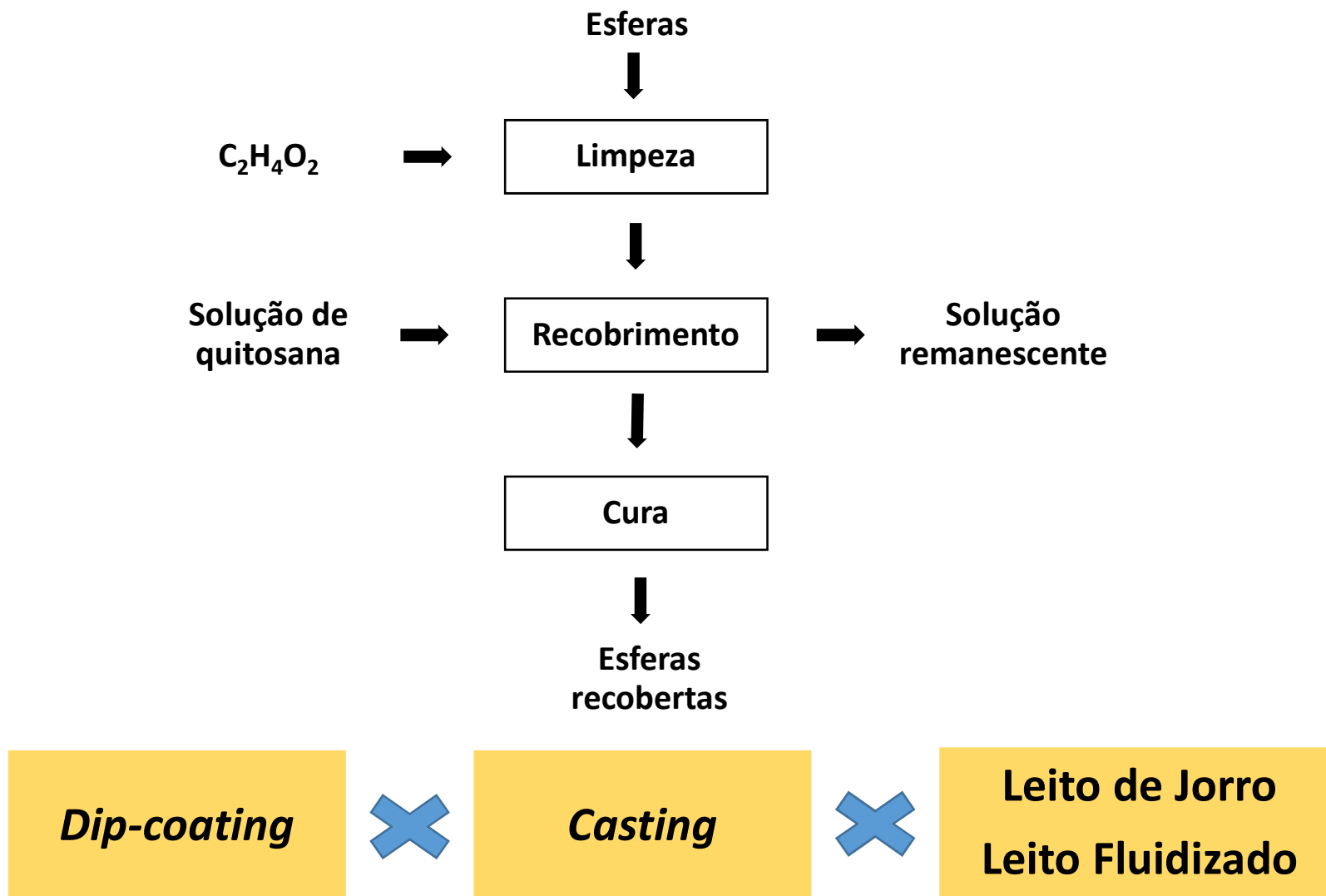
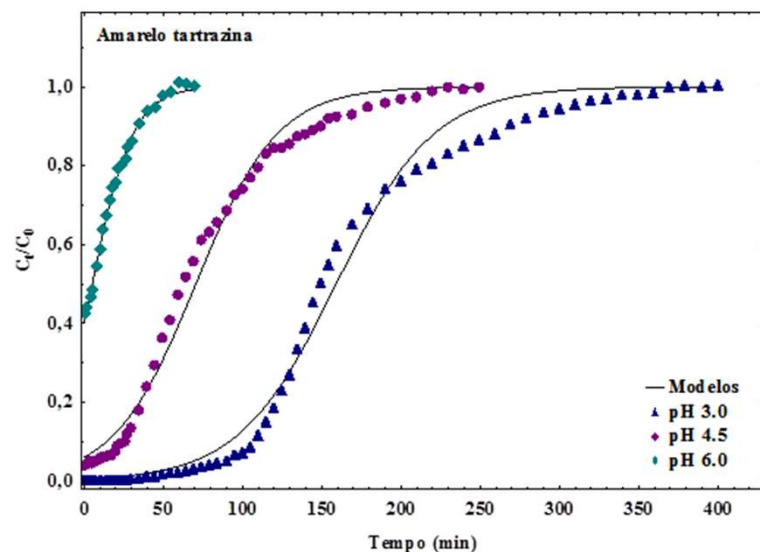


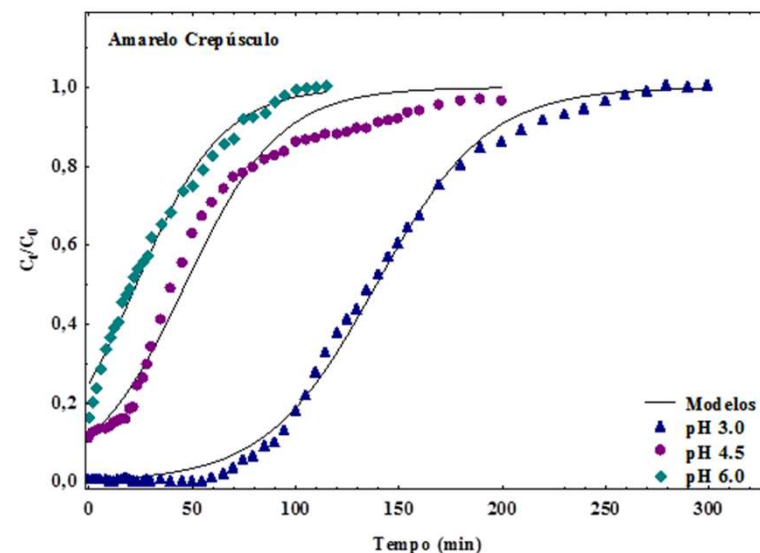
Figura 15 – Fluxograma do processo de obtenção das esferas de vidro recobertas com quitosana.



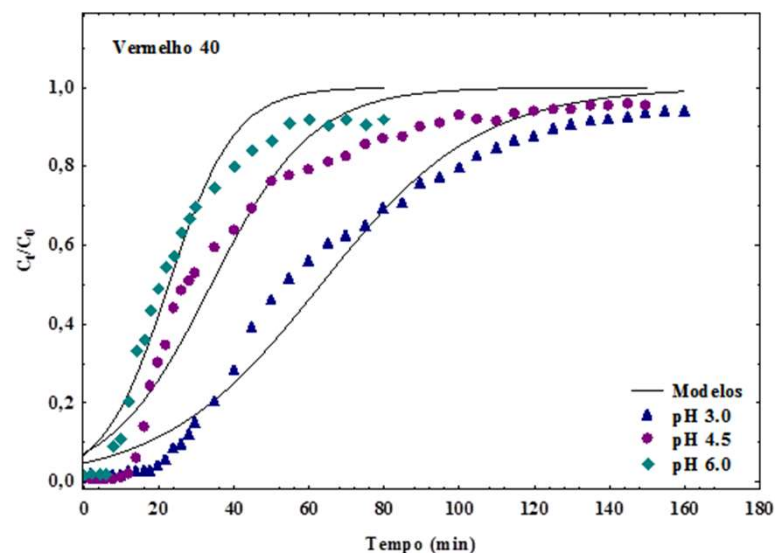
**Figura16: Curvas de ruptura para a adsorção dos corantes utilizando as partículas de vidro revestidas com quitosana em *dip-coating*:
(a) amarelo tartrazina, (b) amarelo crepúsculo e (c) vermelho 40.**



(a)

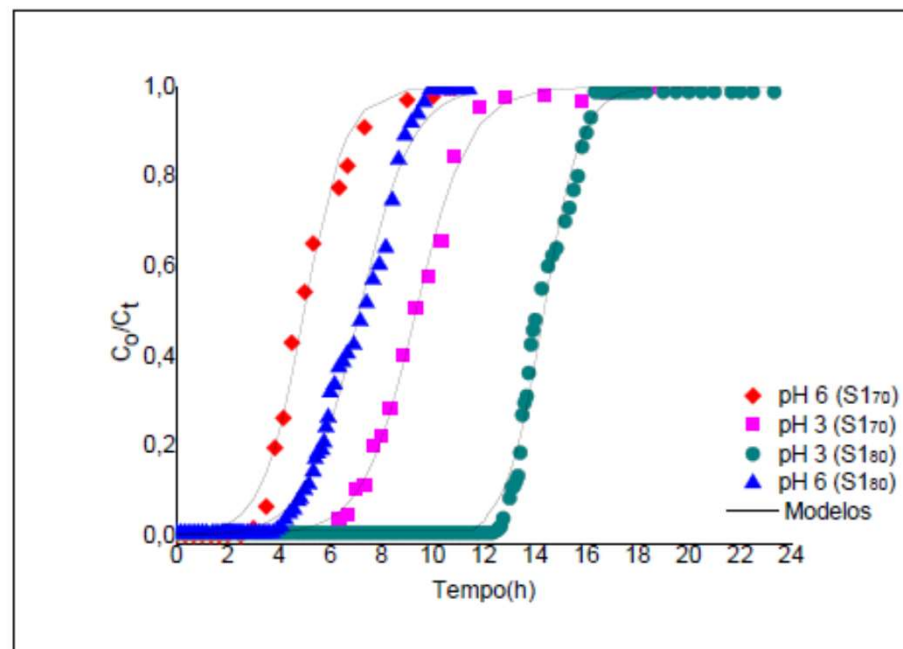


(b)



(c)

Figura 17: Curvas de ruptura da adsorção do corante reativo preto 5 utilizando as partículas de vidro revestidas com quitosana em leito fluidizado



NANOFIBRAS DE QUITOSANA

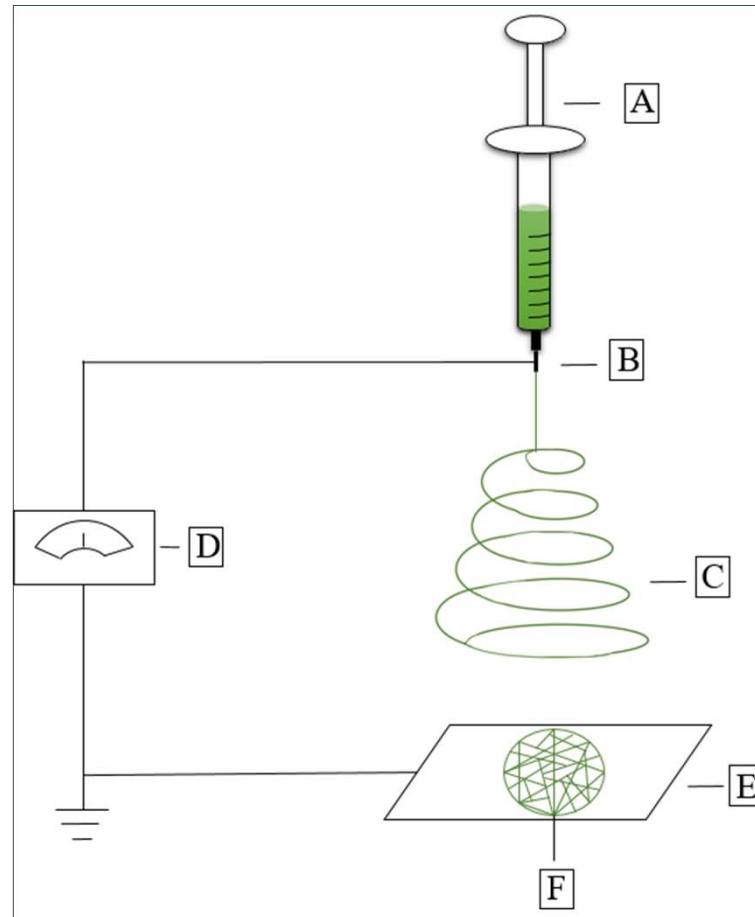


Figura 18: (A) seringa com solução polimérica; (B) *spinneret*; (C) percurso do jato; (D) fonte de alta tensão; (E) coletor aterrado; (F) nanofibra.

Considerações Finais

Obrigado



Mestrados concluídos no Tema Adsorção/Tratamento de Efluentes:

- **1. CLÁUDIO PEREIRA PINHEIRO.** Recobrimento de diferentes partículas com quitosana em leito de jorro e sua utilização na adsorção em leito fixo de corantes em solução aquosa. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **2. DENYS ALBERTO DA SILVA RODRIGUES.** Elaboração, caracterização e aplicação de filmes modificados de quitosana por íons metálicos na remoção do corante Reativo Preto 5. 2016. Dissertação (Mestrado em Química Tecnológica e Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **3. JANAÍNA OLIVEIRA GONÇALVES.** Remoção de corantes alimentícios de sistemas aquosos binários utilizando quitosana modificada com cianoguanidina como adsorvente. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **4. ALISSON SCHONS CAMARA.** Adsorção de cromo (VI) em leito fixo utilizando partículas de areia recobertas com quitosana. 2014. Dissertação (Mestrado em Química Tecnológica e Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande
- **5. MERY LUIZA GARCIA VIEIRA.** Quitosana imobilizada em suporte inerte para adsorção de corantes alimentícios em coluna de leito fixo. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **6. VANESSA MENDONÇA ESQUERDO.** Microestruturas de quitosana para utilização como adsorvente de corantes alimentícios e agente encapsulante de ácidos graxos poli-insaturados. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **7. JAQUELINE MOTTA DE MOURA.** Avaliação da hidrólise alcalina da quitina e elaboração de filmes de quitosana para aplicação na adsorção do corante têxtil reativo preto 5. 2014. Dissertação (Mestrado em Química Tecnológica e Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande.

Mestrados concluídos no Tema Adsorção/Tratamento de Efluentes:

- **8. TATIANE RÊGO.** Aplicação de filmes de quitosana para adsorção de corantes alimentícios em soluções aquosas. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **9. TITO ROBERTO SANT'ANNA CADAVAL JUNIOR.** Adsorção de cromo (VI) utilizando quitosana com diferentes graus de desacetilação. 2012. Dissertação (Mestrado em Química Tecnológica e Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **10. GUILHERME LUIZ DOTTO.** Adsorção de corantes alimentícios pelo biopolímero quitosana. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **11. JEFERSON STEFFANELLO PICCIN.** Produção de quitosana a partir de resíduos de camarão e aplicação como adsorvente do corante alimentício FD&C vermelho N° 40. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **12. ELISA LOTICI HENNING.** Utilização de quitosana obtida de resíduos de camarão para avaliar a capacidade de adsorção de íons Fe. 2009. Dissertação (Mestrado em Química Tecnológica e Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **13. CATARINA MOTTA DE MOURA.** Avaliação da reação de desacetilação da quitina e estudo da secagem de pellets de quitosana para aplicação em filmes poliméricos. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Doutorados concluídos no Tema Adsorção/Tratamento de Efluentes:

- **1. PABLO DANIEL FREITAS BUENO.** Recobrimento de partículas de vidro com quitosana em leite de jorro e sua utilização na adsorção de corantes em solução aquosa. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **2. JULIANA DE MELLO SILVA.** Desenvolvimento de filmes bioadsoventes e blendas de quitosana e Spirulina sp para remoção de corantes de soluções aquosas. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos).
- **3. RICARDO SCHERER POHNDORF.** Cinética e termodinâmica da adsorção de pigmentos e produtos de oxidação no branqueamento de óleos de microalga, arroz e de pescado. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **4. TITO ROBERTO SANT'ANA CADAVAL JR.** Adsorção de corantes e íons de vanádio (V) em solução aquosa utilizando filmes de quitosana. 2014. Tese (Doutorado em Química Tecnológica e Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **5. CATARINA MOTTA DE MOURA.** Estudo do processo de produção de quitosana e seu uso na obtenção de filmes biopoliméricos. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **6. GUILHERME LUIZ DOTTO.** Biossorção de corantes alimentícios utilizando nanopartículas de Spirulina platensis. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.
- **7. LÚCIA DE MORAES BATISTA.** Produção de quitosana a partir de resíduos da camarão: análise do processo e da operação de secagem. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande.

Pós-doutorados concluídos no Tema Adsorção/Tratamento de Efluentes:

- **1. CATARINA MOTTA DE MOURA.** Adsorção de íons metálicos utilizando micro e nanopartículas de Spirulina sp. 2013. Universidade Federal do Rio Grande,.
- **2. GUILHERME LUIZ DOTTO.** Pós-tratamento alternativo para a remoção e fenol dos efluentes de refinarias de petróleo: biossorção utilizando nanopartículas de Spirulina sp.. 2012. Universidade Federal do Rio Grande.

Cianoguanidina

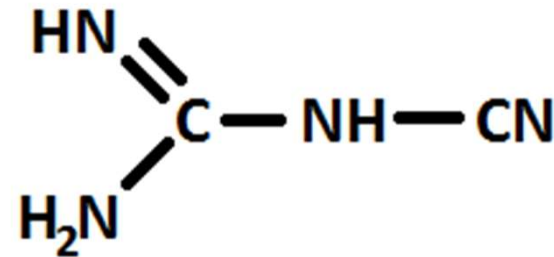
- Baixo custo;
- Pouco estudada;
- Alta seletividade.

Quimicamente



**Forma dimérica da
cianamida (H₂NCN)**

Figura 4 – Estrutura da cianoguanidina



Fonte: Wang et al. (2013)

Figura 5 - Pó de Cianoguanidina

