

Remoção de Níquel(II) e Cádmiio(II) em N-Lauroil Quitosana em Soluções Aquosas: Cinética e Isotermas

Aline F. Barcelos, Danillo A. Silva, Camilla L. Vieira & Roberta Signini

Quitosana reagiu com cloreto de lauroil para obter o adsorvente N-Lauroil Quitosana(NLQ). O adsorvente foi usado para estudos de adsorção em solução aquosa de íons de níquel(II) e cádmium. Foram realizados estudos de pH, cinéticos e de equilíbrio. O pH ótimo observado foi de 5,0 e 5,5 para os íons de níquel(II) e cádmium(II), respectivamente. Dos estudos cinéticos, foi observada a cinética de pseudoprimeira ordem. Os dados da adsorção em equilíbrio foram analisados pelos modelos de Langmuir, Freudlinch e Tenkim. A capacidade máxima de adsorção (q_{max}) foram 20,1 e 49,3 $mg\ g^{-1}$ respectivamente para o níquel(II) e cádmio(II).

Palavras-chaves: *N-lauroil quitosana; adsorção; íos níquel(II); cádmio(II).*

Chitosan was functionalized from lauroyl chloride, obtaining Chitosan-N-Lauroyl adsorbents (NQL). The adsorbent was used to study the adsorption in aqueous nickel(II) and cadmium(II) solution, including pH, kinetics and equilibrium dependence. At optimum pH-value of 5.0 and 5.5 for nickel(II) and cadmium(II) ion in NQL, respectively. The kinetics study demonstrated that the adsorption process proceeded according to the first-second-order model. The equilibrium data were analyzed by Langmuir, Freundlich and Tenkim isotherms models. The maximum adsorption capacities (q_{max}) were 20.1 and 49.3 $mg\ g^{-1}$ for nickel(II) and cadmium(II) ion, respectively.

Palavras-chaves: *chitosan-N-lauroyl; adsorption; nickel(II); cadmium(II) ions.*

Introdução

A atividade industrial pode gerar condições desfavoráveis ao meio ambiente, contribuindo muito para um aumento significativo nas concentrações de íons metálicos em águas, principalmente, os provenientes de metais tóxicos, o que conduz a sérios problemas de acumulação durante os ciclos ecobiológicos. Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até mesmo o ser humano, mas eles são requeridos em baixas concentrações. Entretanto, os metais tóxicos são extremamente nocivos para uma grande variedade de organismos e representam um grupo de poluentes que requer um tratamento especial, pois não são degradados quimicamente e nem biologicamente, ao contrário são acumulados no ecossistema. Quando absorvidos pelo ser humano, os metais tóxicos se depositam nos tecidos ósseos e gordurosos e deslocam minerais nobres dos ossos e músculos para a circulação, podendo provocar doenças.¹⁻³ Apesar dos problemas que os metais podem causar ao ser humano e ao ambiente, não se pode eliminá-los dos processos industriais e, por esta razão, existe a necessidade de estudos em relação à remoção em efluentes de descarte.

São usados para tratar efluentes industriais técnicas de sedimentação, tratamentos eletroquímicos, tratamentos térmicos, tratamentos biológicos, tratamentos físico-químicos,⁴ eletrodialise,⁵ osmose reversa e filtração por membrana.⁶ No entanto, estes métodos podem ser ineficazes ou caros, especialmente, quando os íons de metais pesados estão presentes em águas residuais em baixas concentrações.⁷ Portanto, é necessário outros métodos para minimizar as despesas e tornar mais eficiente o tratamento de efluentes que contêm metais em pequenas quantidades. A adsorção é um método mais adequado para ser utilizado em tratamento de efluentes contendo metais, quando esses se encontram em pequenas quantidades. Uma das vantagens desse método em relação aos outros é a baixa geração de resíduos, fácil recuperação de metais e a possibilidade de reutilização do adsorvente em vários ciclos.^{8,9} Tem-se uma larga escala de adsorventes à disposição para serem usados para este fim, como, por exemplo, carvão ativado, argilas,

silicas, dentre outros.¹⁰ Outro tipo de adsorvente, também eficaz e de baixo custo, o que viabiliza o processo, são os chamados bioadsorventes, no qual se podem destacar a quitosana e seus derivados.¹¹⁻¹⁸

A capacidade da quitosana em adsorver metais é devido principalmente à presença de grupos aminos(-NH₂) que estão presentes em sua estrutura¹⁹ e esta capacidade varia de acordo com a cristalinidade, afinidade por água, porcentagem de desacetilação e quantidade de grupos amino²⁰. A quitosana, apesar de ter grande potencial, possui algumas limitações, como estabilidade mecânica baixa, baixa solubilidade, baixa porosidade, baixa resistência térmica e baixa área superficial.²¹ Portanto, uma modificação em sua cadeia poderá solucionar algumas de suas restrições possibilitando aumento da sua aplicabilidade, por exemplo, para a adsorção de metais.

A modificação da quitosana, geralmente, ocorre de maneira mais fácil quando comparados com outros polissacarídeos, isto é devido os seus grupos funcionais amino e hidroxil serem reativos.²² Esses grupos permitem a modificação da quitosana como a acetilação, alquilação, carboximetilação²³ e formação de bases de Schiff com aldeídos e cetonas.²⁴ Assim, neste trabalho, produziu-se um derivado de quitosana, a partir da reação da quitosana com cloreto de lauroila obtendo o N-lauroil quitosana e utilizou este adsorvente para a adsorção de íons metálicos níquel(II) e cádmio(II).

Metodologia

Síntese e Purificação N-Lauroil Quitosana (NLQ)

Foram suspensos 10g de quitosana em 600 mL de solução ácido acético 1% (v/v), a suspensão foi mantida sob agitação mecânica durante 24 horas. Posteriormente, foi ajustado o pH com hidróxido de sódio 2 mol L⁻¹ para atingir pH 6,8-7,0. Em seguida, adicionaram-se lentamente 5,0 mL de cloreto de lauroila e deixados sob agitação mecânica por 6 horas com rotação de 1250 rpm. Posteriormente, foi ajustado novamente o pH com hidróxido de sódio 2 mol L⁻¹ para atingir pH 6,8-7,0. Por fim, foi adicionado etanol até a precipitação completa. O gel expandido (precipitado)

foi filtrado e lavado abundantemente com acetona e seco à temperatura ambiente.

Para purificação da amostra, foi utilizado o sistema Soxhlet, no qual as amostras permaneceram sob refluxo durante 48 horas em 200 mL de metanol P.A. Posteriormente, as amostras foram secas à temperatura ambiente e trituradas, por meio do almofariz e pistilo de porcelana, até atingirem o tamanho 600 μm medidos por uma peneira.

ESTUDOS DE ADSORÇÃO

Efeito do pH na adsorção de íons metálicos em N-lauroil quitosana

Para avaliar o efeito do pH, foram preparadas suspensões contendo 25 mg do adsorvente NLQ em 25 mL de solução aquosa do íon metálico com concentração de 100 mg L^{-1} em intervalo de pH de 1,0 a 12,0. A suspensão foi mantida sob agitação a temperatura 25°C pelo período de 2h. Após, as suspensões foram filtradas e diluídas dez vezes para serem analisadas no espectrofotômetro de absorção atômica AAnalyst 400 da Perkin Elmer. O experimento foi feito em triplicata.

Efeito do tempo de contato na adsorção do íon metálico – Tempo de Equilíbrio e Cinética

Para que se realizasse esse experimento, foi utilizado um condutivímetro marca GEHAKA com o objetivo de monitorar o tempo, contado em relação à condutividade da amostra. 25 mg de N-lauroil quitosana (NQL) foram adicionados à 25mL da solução de íons metálicos em recipiente que possui 100 mgL^{-1} do metal. A solução foi deixada em agitação e à temperatura ambiente e de tempos em tempo foi medida a sua condutividade.

Equilíbrio de adsorção dos íons metálicos em N-Lauroil quitosana

O estudo de equilíbrio foi conduzido a 25 °C utilizando 25 mg de NLQ em 25 mL de solução do íon metálico, sendo que a concentração do íon metálico na solução variou de 20 mg L^{-1} a 100 mg L^{-1} . A suspensão foi mantida sob agitação contínua durante o tempo de equilíbrio e pH igual 5,0 para o caso do íons níquel(II) e 5,5 para os íons cádmio(II). Após a suspensão, foi filtrada e diluída 10 vezes. Em seguida, foram

realizadas medidas no espectrofotômetro de absorção. Este experimento foi feito em triplicata.

Resultados e Discussão

EFEITO DO PH NO PROCESSO DE ADSORÇÃO

A mudança no pH afeta o processo de adsorção através da dissociação dos grupos funcionais que estão presentes no material. Na Figura 1, é mostrado o efeito do pH na adsorção dos íons metálicos de níquel(II) e cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana (NLQ). No estudo do efeito do pH na adsorção do íon metálico, variou-se o pH de 1,0 até 12,0. Entretanto, observou-se que para a adsorção dos íons metálicos em $\text{pH} \geq 4,5$ ocorreu a dissolução parcial do adsorvente e em $\text{pH} \geq 7,0$ observou-se precipitação dos íons metálicos na forma de hidróxidos. A dissolução parcial do adsorvente e a precipitação dos íons metálicos pode comprometer o resultado de adsorção, apresentando erros de análises relativamente grandes e, assim, a faixa propriamente estudada de pH foi de 5,0 a 7,0.

Analisando a Figura 1(a), observa-se que em pH 5,0 a adsorção de íons de níquel(II) foi em torno de 22%. Ao aumentar o pH do sistema de adsorção dos íons de níquel(II) observa-se que ocorre uma diminuição na adsorção e tem-se a um máximo em pH 7,0. Em pH 7,0 observou uma adsorção de íons de níquel (II) de 25,6%, porém neste pH ocorre a precipitação dos íons de níquel(II) o que compromete a análise. Fato semelhante é observado no pH 7,0. Desta forma, o pH ótimo ocorre em 5,0. Na Figura 1(b) que o pH ao qual teve maior remoção de íons cádmio(II) foi em 5,5, cerca de 32%, e de maneira semelhante ao observado para os íons de níquel(II) em $\text{pH} \geq 7,0$ ocorre a precipitação dos íons de cádmio(II).

EFEITO DO TEMPO DE CONTATO NA ADSORÇÃO DO ÍON METÁLICO

Tempo de Equilíbrio

Foi realizado o estudo do efeito do tempo de contato para os processos de adsorção de íons de níquel(II) e íons de cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana, a fim de determinar o tempo de equilíbrio e a cinética envolvida no processo de adsorção.

O efeito do tempo de contato no processo de adsorção dos íons níquel (II) em N-Lauroil Quitosana pode ser observado na Figura 2(a). Observa-se que a condutividade do sistema diminui bruscamente até próximo de 90 minutos e posteriormente a condutividade diminuiu suavemente e em torno de 150 minutos e a partir deste momento mantém-se constante. Isto sugere que o tempo de equilíbrio dos íons de níquel(II) em N-Lauroil Quitosana ocorre em torno de 150 minutos. Já para o efeito do tempo de contato dos íons cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana pode ser observado na Figura 2(b). Neste caso observa-se que a condutividade do sistema diminui bruscamente até próximo de 75 minutos e posteriormente a condutividade diminuiu suavemente e em torno de 180 e depois se mantém constante. Isto sugere que o tempo de equilíbrio dos íons de cádmio(II) em N-Lauroil

Quitosana ocorre em torno de 180 minutos. O tempo de equilíbrio determina o tempo gasto para saturação dos sítios de ligação do adsorvente, no caso o N-Lauroil Quitosana.

A cinética do processo de adsorção foi determinada empregando modelos de pseudoprimeira ordem,²⁵ pseudossegunda ordem²⁶ e difusão intrapartícula.²⁷ Os parâmetros das regressões lineares para os modelos de pseudoprimeira ordem, pseudossegunda ordem e difusão intrapartícula para a adsorção de íons de níquel(II) e de íons de cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana estão mostrados na Tabela 1. Observa-se que o modelo cinético que melhor descreve o processo adsorptivo, independente do íon metálico, é o modelo de pseudoprimeira ordem, pois o valor de coeficiente de correlação (R²) foi que mais se aproximou de 1, indicando um bom ajuste.

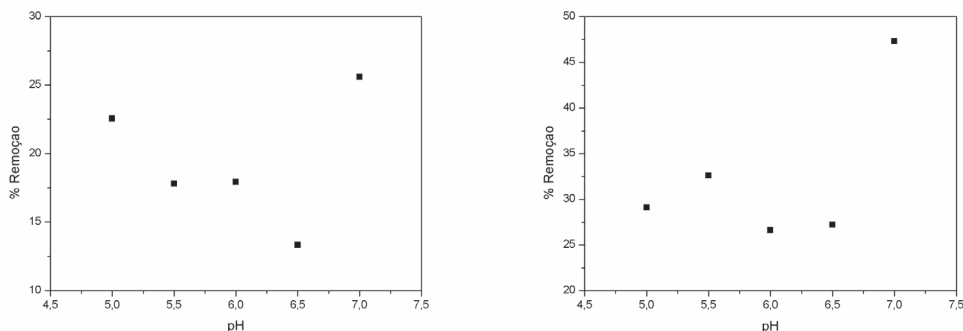


Figura 1. Estudo do efeito do tempo de contato no processo de adsorção de (a) íons de níquel(II) e (b) íons de cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana

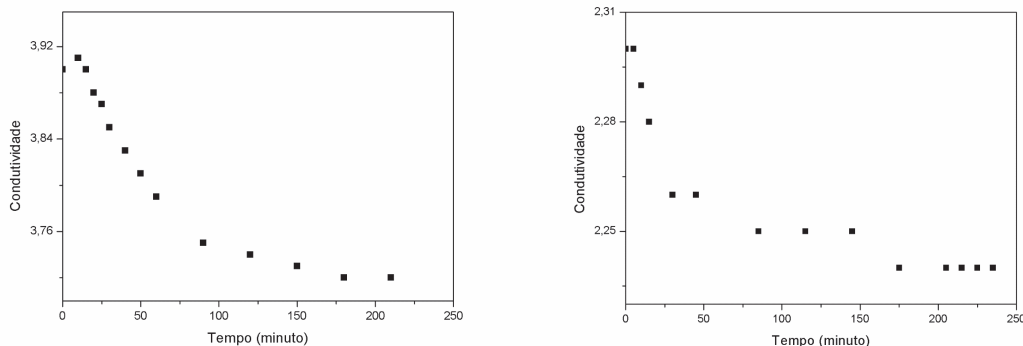


Figura 2. Efeito do tempo de contato no processo de adsorção de (a) Íons de Níquel(II) e (b) Íons de Cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana.

Tabela 1. Resultados cinéticos de adsorção do íons de níquel(II) e íons de cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana

Íon Metálico	Modelo	qe(mg g ⁻¹)	K1(min ⁻¹)	K2(g mg ⁻¹ min ⁻¹)	Kd(mg g ⁻¹ min ^{-0,5})	R2
Níquel(II)	Pseudo 1ª Ordem	12,7	0,02	---	---	0,98642
	Pseudo 2ª Ordem	7,3	---	0,01	---	0,84410
	Difusão Intrapartícula	---	---	---	0,98	0,89381
Cádmio(II)	Pseudo 1ª Ordem	3,4	2,9x10 ⁻²	---	---	0,88903
	Pseudo 2ª Ordem	3,9	---	1,6x10 ⁻²	---	0,87604
	Difusão Intrapartícula	---	---	---	3,9x10 ⁻¹	0,83387

ESTUDO DE ADSORÇÃO EM EQUILÍBRIO DE ÍONS METÁLICOS

Nesse estudo, foram empregadas as isotermas de Langmuir, Freundlich e Temkin para se tratarem os dados experimentais. A isoterma de Langmuir prevê que a adsorção (recobrimento) ocorra em apenas uma camada molecular (monocamada), sendo que os sítios de adsorção são considerados uniformes e as moléculas adsorvidas não interagem com os sítios ou moléculas vizinhas.²⁸ Assim sendo, a construção da Isoterma de Langmuir (1) se faz a partir de um gráfico C_{eq}/q versus C_{eq} . A linearização dos dados, regressão linear, origina uma equação da reta no qual é possível determinar as constantes de Langmuir (K_L e q_{max}),

$$\frac{C_{eq}}{q} = \frac{1}{K_L \times q_{max}} + \frac{C_{eq}}{q_{max}} \quad (1)$$

Em que: C_{eq} é a concentração no equilíbrio (mg L⁻¹); q é a quantidade do metal adsorvido (mg g⁻¹); q_{max} é a quantidade máxima de metal adsorvido (mg g⁻¹); K_L é a constante de Langmuir (L mg⁻¹).

Pode-se analisar o modelo de Langmuir, a partir das constantes K_L e q_{max} , estando essas constantes relacionadas com a energia da adsorção e à capacidade de adsorção máxima. Porém existe ainda outro parâmetro, R_L , chamado parâmetro de equilíbrio que é uma constante adimensional que indica se a adsorção é

ou não favorável. Para valores entre 0 e 1, a adsorção é considerada favorável.²⁹ A constante R_L é definida pela equação 2,

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L \times C_0)} \quad (2)$$

Em que: R_L o parâmetro de equilíbrio; K_L a constante de Langmuir (L mg⁻¹); C_0 a concentração inicial mais alta do metal (mg L⁻¹).

A isoterma de Freundlich ocorre, geralmente, em multicamadas diferentemente da monocamada exigida pela isoterma de Langmuir, sendo a primeira uma derivação da segunda na qual se modifica a hipótese de que todos os sítios são equivalentes.³⁰ A construção da Isoterma de Freundlich (equação 3) se faz a partir da linearização de um gráfico $\log q$ versus $\log C_{eq}$,

$$\log q = \log K_F + \frac{1}{n} \times \log C_{eq} \quad (3)$$

Em que: C_{eq} é a concentração no equilíbrio (mg L⁻¹); q é a quantidade do metal adsorvido (mg g⁻¹); $1/n$ é uma constante adimensional relacionada com a intensidade da adsorção, também conhecido como fator de linearidade; K_F é a constante de Freundlich.

Temkin 31 propôs um modelo (Equação 4 e 5) em que são considerados os efeitos das interações indiretas entre as moléculas do adsorvato. O modelo de Temkin assume que:

(i) O calor de adsorção de todas as moléculas diminui linearmente com a cobertura, devido às interações adsorvato-adsorvente;

(ii) A adsorção é caracterizada por uma distribuição uniforme de energias de ligação.

$$q = B_T \cdot \ln K_T + B_T \cdot \ln C_{eq} \quad (4)$$

Sendo

$$B_T = \frac{RT}{b} \quad (5)$$

Em que: B é a constante adimensional de Temkin relacionada com o calor de adsorção com o número total de sítios; b é o calor de adsorção ($J \text{ mol}^{-1}$); K_T é a constante de Temkin ($L \text{ g}^{-1}$) e R é constante universal dos gases ideais ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$).^{32,33}

Na Tabela 2, são mostrados os resultados das isotermas de Langmuir, Freundlich e Temkin para o processo de adsorção de íons de níquel(II) e íons cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana.

Baseado no coeficiente de correlação (R^2), o modelo que melhor descreve o processo de adsorção de íons de níquel(II) e de íons cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana foi o de Freundlich, pois o valor do coeficiente de correlação (R^2) obtidos nesta isoterma estão mais próximo de 1, sugerindo que o processo de adsorção é em multicamadas.

Tabela 2. Parâmetros obtidos dos modelos das isotermas de adsorção

Isoterma	Parâmetro	Adsorvato	
		Níquel(II)	Cádmio(II)
Langmuir	qmax (mg/g)	20,1	49,3
	KL ($L \text{ mg}^{-1}$)	0,04	0,01
	RL	0,22	0,50
	R2	0,950	0,982
Freundlich	KF	1,86	0,73
	1/n	0,48	0,63
	n	2,1	1,6
	R2	0,965	0,997
Temkin	KT ($L \text{ g}^{-1}$)	0,33	0,33
	BT	4,51	27,5
	b	549,54	90,1
	R2	0,943	0,983

A partir da isoterma de Freundlich para o processo de adsorção de íons de níquel(II) e íons cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana, obteve-se um valor de KF (constante de Freundlich) igual a 1,86 e 0,73, respectivamente. Para valores de n entre 1 e 10, a adsorção é considerada favorável, 34 neste trabalho ambos os valores de n encontrado para o processo de adsorção estão nesta faixa,

indicando que o processo é favorável. Fato que também é confirmado pelo parâmetro de equilíbrio, RL, a qual considera o processo de adsorção favorável valores de RL entre 0 e 1, sendo que neste o trabalho o valor de RL foi de 0,22 e 0,50, respectivamente, para o processo de adsorção dos íons de níquel(II) e íons de cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana. O valor de RL indica o tipo da

isoterma, ou seja, se a isoterma é irreversível ($RL = 0$), favorável ($0 < RL < 1$), linear ($RL = 1$) ou desfavorável ($RL > 1$).^{29,35} Através da isoterma de Langmuir, observou-se que a capacidade máxima absorvida ($q_{\text{máx}}$) foi de 20,1 mg de íons níquel (II) por grama de N-Lauroil Quitosana e 49,3 mg g^{-1} para o processo de adsorção de cádmio(II). Os valores de q_{max} para os íons metálicos mostra que o adsorvente tem maior afinidade pelo íons de cádmio(II).

Na isoterma de Temkin, obteve-se um valor de KT (constante de Temkin) de 0,33 L g^{-1} independente do íon metálico considerado já o um valor de BT de foi de 4,51 e 27,5 respectivamente para o processo de adsorção dos íons níquel(II) e cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana. Analisando o valor obtido de BT , pode-se perceber que o calor de adsorção das moléculas diminui linearmente com a cobertura da superfície do adsorvente devido às interações existentes.³⁶

Considerações Finais

O pH ótimo obtido no processo de adsorção no N-Lauroil Quitosana foram 5,0 e 5,5 para os íons níquel(II) e cádmio(II), respectivamente. O tempo de equilíbrio do processo de adsorção foi de 150 e 180 minutos respectivamente para o processo de adsorção de íons de níquel(II) e cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana. A cinética apresentada para ambos os processos de adsorção foi de primeira ordem. O valor obtido de n obtido pelo modelo de Freundlich e de RL (parâmetro de equilíbrio) sugere-se que N-Lauroil Quitosana apresenta uma adsorção favorável. O valor de q_{max} foi de 20,1 e 49,3 mg g^{-1} respectivamente para o processo de adsorção de íons de níquel(II) e cádmio(II) em N-Lauroil Quitosana. Dos valores de q_{max} , verifica-se que o N-Lauroil quitosana tem maior afinidade pelos íons de cádmio(II) do que pelo íons de níquel(II).

Agradecimentos

À UEG (bolsa BIP e IC).

Referências

1. Das, S.; Raj, R.; Mangwani, N.; Dash, H.R.; Chakraborty, J. *Microb. Biodegrad. Biorem.* **2014**, 12, 23.
2. Dias, D.L. Metais Pesados. [s.d.]. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/metais-pesados.htm>> acesso em: 26 jan. **2019**.
3. Ellingsen, D.G.; Moller, L.B.; Aaseth, J. *Copper. Handbook on the Toxicology of Metals*. 4 ed., v. 2, p. 765–786, **2015**.
4. Akcil, A.; Frust, C.; Ozdemiroglu, S.; Fonte, V.; Beolchini, F. *J. Cleaner Prod.* **2014**, 81, 1.
5. Al-Shannag, M.; Al-Qodah, Z.; Bani-Melhem, K.; Qtaishat, M.R.; Alkasrawi, M. *Chem. Eng. J.* **2015**, 260, 749.
6. Abdullah, A.Z.; Salamatinia, B.; Kamaruddin, A.H. *Desalination* **2009**, 244, 227.
7. Kobya, M.; Demirbas, E.; Senturk, E.; Ince, M. *Bioresour. Technol.* **2005**, 96, 1518.
8. Benasse, J.C.; Laus, R.; Geremias, R.; Lima, P.L.; Menezes, C.T.B.; Laranjeira, D.; Wilhelm-Filho, D.; Favere, V.T.; Pedrosa, R.C. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **2006**, 51, 633.
9. Ng, J.C.Y.; Cheung, W.H.; McKay, G. *Chemosphere.* **2003**, 52, 1021.
10. Costa, C. A.; Schneider, I. A.; Rubio, J. *Eng. Sanit. Ambiental.* **2000**, 5(1/2), 19.
11. Almeida, F.T.R.; Ferreira, B.C.S.; Moreira, A.L.S.L.; Freitas, R.P.; Gil, L.F.; Gurgel, V.A. *J. Colloid Interface Sci.* **2015**, 15, 30421.
12. Borsagli, F.G.L.M.; Mansur, A.A.P.; Chagas, P.; Oliveira, L.C.A.; Mansur, H.S. *React. Funct. Polym.* **2015**, 97, 37.
13. Cui, H.; Chen, J.; Yang, H.; Wang, W.; Liu, Y.; Zou, D.; Liu, W.; Men, G. *Chem. Eng. J.* **2013**, 232, 372.
14. Dragan, E.S.; Cocarta, A.I.; Dinu, M.V. *Chem. Eng. J.* **2014**, 255, 659.
15. Fan, L.; Luo, C.; SUN, M.; LI, X.; QIU, H. *Colloids Surf., B.* **2013**, 103, 523.
16. Gazargan-Lari, R.; Zafarani, H.R.; Bahrololoom, M.E.; Nemat, A. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* **2014**, 45, 1642.
17. Huang, J.; Xie, H.; Ye, H.; Xie, T.; Lin, Y.; Gong, J.; Jiang, C.; Wu, Y.; Liu, S.; Cui, Y.; Mao, J.; Mei, L. *Carbohydr. Polym.* **2016**, 138, 301.
18. Shaker, M.A.; Yakout, A.A. *Spectrochim. Acta, Part A.* **2016**, 154, 156.
19. Kyzas, G.Z.; Deliyann, E.A. *Molecules.* **2013**, 18, 6193.
20. Ying, G.; Xiong, W.; Wang, H.; Sun, Y.; Liu, H. *Carbohydr. Polym.* **2011**, 83, 1787.
21. Crini, G.; Badot, P.-M.; Prog. *Polym. Sci.* **2008**, 33, 399.
22. Rinaudo, M. *Prog. Polym. Sci.* **2006**, 31, 603.

23. Shin, Y. Zhu, Y.; Ran, X.; Wang, M.; Su, Y.; Cheng, T. J. Surg. Res. **2006**, 133, 185.
24. Baran, T.; Menten, A. Int. J. Biol. Macromol. **2015**, 79, 542.
25. Ho, Y.; McKay, G. A. Process Saf. Environ. Prot. **1998**, 76, 332.
26. Qiu, H.; LV, L. et al. J. Zhejiang Univ., Sci., A. **2009**, 10, 716.
27. Wu, F. C.; Tseng, R. L.; Juang, R. S. Water Res. **2001**, 35, 613.
28. Langmuir, I. J. Amer. Chem. Soc. **1916**, 30, 2263.
29. Fungaro, D.A.; Da Silva, M. G.. Quim. Nova. **2002**, 25(6B), 1081.
30. Atkins P., De Paula J. Físico-química. 8.ed, Editora LTC: Rio de Janeiro, v. 2, **2008**.
31. Temkin, M. J.; Pyzhev, V. Acta Physiochim USSR. **1940**, 12, 217.
32. Monier M.; Ayad, D. M.; Wey, Y.; Sarhan, A. J. Hazard. Mater. **2010**, 177, 962.
33. Zhou, L.; Wang, Y.; Liu, Z.; Huang, Q. J. Hazard. Mater, **2009**, 161; 995.
34. Yan, H.; Dai, J.; Yang, Z.; Yang, H.; Cheng, R. Chem. Eng. J., **2011**, 174(2-3), 586.
35. Sadeghi-Kiakhani, M.; Arami, M.; Gharanjig, K. J. Environ. Chem. Eng. **2013**, 1, 406.
36. Zheng, Y.M.; Liu, T.; Jiang, J.; Yang, L.; Fan, Y.; Wee, A.T.; Chen, J.P. J. Colloid Interface Sci. **2011**, 356, 741.

Aline F. Barcelos, Danillo A. Silva,
Camilla L. Vieira & Roberta Signini*

Universidade Estadual de Goiás, Campus de Anápolis
de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo,
Caixa Postal 459, CEP 75001-970, Anápolis/GO.

*E-mail: roberta.signini@gmail.com