

Artigo

Adsorção de Corantes Azul Indosol, Laranja Indosol e Vermelho Drimaren em Solução Aquosa por Argila Branca

Castro, A. S.;* Franco, C. R.; Cidade, M. J. A.

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (5), 1502-1515. Data de publicação na Web: 26 de setembro de 2018

<http://rvq.sbq.org.br>**Adsorption of Dyes Indosol Blue, Indosol Orange and Drimarene Red in Aqueous Solution by White Clay**

Abstract: Currently, the index of the use of activated carbon as adsorbent in the treatment of water contaminated by dyes is constant due to its very developed porosity. However, due to the way this material is produced, its high cost and scarcity, it is necessary to search for alternative materials that guarantee the same efficiency. This study investigated the efficiency of white clay as an adsorbent for Indosol Blue (IB), Indosol Orange (IO) and Drimarene Red (DR). The adsorption data showed that the kinetic processes agreed with the pseudo-second order model. The adsorption processes were better adjusted to the Langmuir isotherm, indicating a chemical adsorption.

Keywords: Adsorption; white clay; dyes; Langmuir.

Resumo

Atualmente, o índice do uso de carvão ativado como adsorvente no tratamento de água contaminada por corantes é constante, devido a sua porosidade bastante desenvolvida. No entanto, à forma como este material é produzido, seu alto custo e escassez, torna-se necessária a busca por materiais alternativos que garantam a mesma eficiência. Este estudo investigou a eficiência da argila branca como adsorvente para os corantes Azul Indosol (AI), Laranja Indosol (LI) e Vermelho Drimaren (VD). Os dados de adsorção mostraram que os processos cinéticos concordaram com o modelo de pseudo-segunda ordem. Os processos de adsorção foram melhores ajustados à isoterma de Langmuir, indicando uma adsorção química.

Palavras-chave: Adsorção; argila branca; corantes; Langmuir.

* Universidade Federal de Roraima, Departamento de Química, Campus Paricarana, CEP 69310-000, Boa Vista-RR, Brasil.

✉ adilsonkastro@hotmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20180102](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180102)

Adsorção de Corantes Azul Indosol, Laranja Indosol e Vermelho Drimaren em Solução Aquosa por Argila Branca

Adilson da S. Castro, Carlos R. Franco, Mirla J. A. Cidade

Universidade Federal de Roraima, Departamento de Química, Campus Paricarana, CEP 69310-000, Boa Vista-RR, Brasil.

* adilsonkastro@hotmail.com

Recebido em 10 de junho de 2018. Aceito para publicação em 19 de setembro de 2018

1. Introdução

2. Materiais e Métodos

2.1. Caracterização do material adsorvente

2.2. Preparo das soluções de corantes e obtenção da curva de calibração

2.3. Cinética de adsorção

2.4. Determinação da eficiência e equilíbrio de adsorção

3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização do material adsorvente

3.2. Cinética da adsorção

3.3. Eficiência e equilíbrio de adsorção

4. Conclusão

1. Introdução

Meio ambiente, preservação da natureza, sustentabilidade e produção limpa são temas geradores de muitos debates e estudos atualmente. Essa preocupação vem favorecendo a busca por aplicação de técnicas que visem minimizar ou eliminar os danos causados por matérias tóxicas provenientes das atividades industriais. Entre essas, a indústria têxtil desperta grande interesse, pois o setor é responsável por cerca de 90 % da água utilizada em atividades industriais. Geralmente, a água residual dessas atividades apresenta corantes, que contêm em sua

composição metais potencialmente tóxicos. Portanto, faz-se necessário submeter a água residual a um tratamento eficaz, para a retirada desses poluentes, a fim de evitar possíveis impactos ambientais.¹

Corantes são substâncias químicas que acrescentam cor a inúmeros substratos têxteis ou não têxteis. Essas substâncias podem ser classificadas por vários critérios, dentre eles a estrutura química. Corantes que apresentam grupo cromóforos azo constituídos pela ligação ($-N=N-$) são denominados azoico, com as seguintes propriedades: são aniônicos; apresentam baixa reatividade por serem vinilsulfônicos; são facilmente solúveis em água e reagem

com fibras celulósicas, proteicas e poliamidas.² Como exemplo desse tipo de corantes podemos citar: Azul Indosol, Laranja Indosol (LI) e Vermelho Drimaren (VD), cujo

nome comercial é Acid Red 88, com estruturas químicas apresentadas, respectivamente, na Figura 1 (a, b e c).

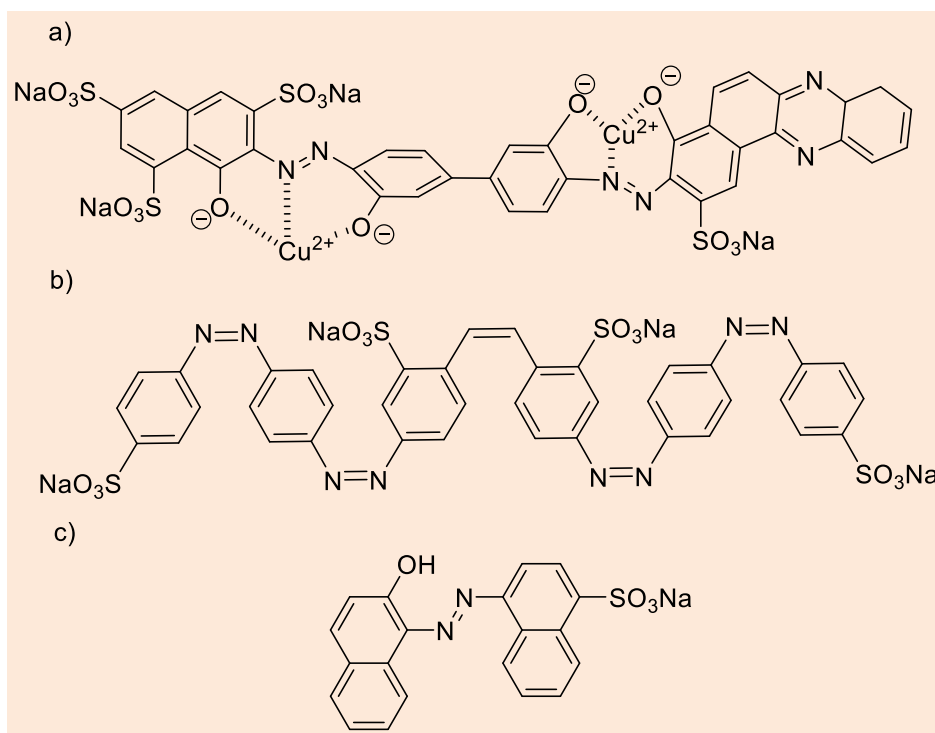


Figura 1. Estrutura química dos corantes: (a) Azul Indosol,³ (b) Laranja Indosol⁴ e (c) Vermelho Drimaren (Acid Red 88)⁵

No combate à poluição ambiental por corantes, vários métodos são utilizados no tratamento de águas residuais como adsorção, coagulação, processos oxidativos e separação por membrana. Dentre os métodos mais eficientes destaca-se a adsorção por carvão ativado.⁶ No entanto, a forma como o material utilizado nesse método é produzido, seu alto custo e escassez, torna necessária a busca por materiais alternativos que garantam a mesma eficiência.⁷ Acredita-se que a sua substituição por argilas como adsorvente é viável, pois, comparadas a outros materiais, estas têm custo reduzido e são encontradas em abundância. Alguns trabalhos realizados comprovaram a eficácia do método, entre eles: o uso da argila branca na adsorção do azul de metileno com rendimento de 96,07 %;⁸ a adsorção do corante azul 5G em meio aquoso, utilizando como adsorvente a dolomita termicamente

modificada com rendimento de 100 %;⁹ a adsorção dos corantes Azul Indosol e Laranja Indosol sobre montmorilonita, com rendimentos de 97,14 % e 94,04 % respectivamente.¹⁰ Outros trabalhos com argilas foram desenvolvidos com técnicas que permitiram aumentar a eficiência da adsorção na retirada de resíduos, como é o caso do tratamento de argila natural esmectítica organofílica com carbonato de sódio e sal de amônio quaternário, potencializando a remoção de fenol para mais de 80 %.¹¹ Ainda podemos citar o uso de resíduos sólidos de curtume como adsorvente, que, submetidos a tratamentos com cromo, aumentam seu caráter catiônicos, permitindo uma maior eficácia na remoção de corantes aniônicos.¹² Vale observar que todos os trabalhos citados foram realizados em temperatura ambiente, ajustados às isotermas de adsorção lineares de Langmuir e Freundlich.

Os adsorventes são definidos como substâncias sólidas, porosas e que apresentam uma área superficial elevada onde ocorre a adsorção do adsorvato, ou seja, da substância química que se acumula no adsorvente. A adsorção pode ser química, por interação do tipo iônica, ligações de hidrogênio ou ligações covalentes; ou física que, diferentemente da química, é inespecífica, mas há ocorrência de interações moleculares de Van der Waals.^{8,12,13} Dentre os principais materiais adsorventes comerciais destacam-se carvão ativo, aluminas, argilas e resinas orgânicas,¹⁴ os quais são bastante utilizados para remoção de metais potencialmente tóxicos e compostos orgânicos causadores de cores, turbidez, gosto e odor presentes em água.¹⁵⁻¹⁸ Diferentes materiais estão sendo testados como adsorventes. São eles: carvão de coque, carvão de pedra, polímero sintético não iônico, terra de diatomácea, bentonita, resinas trocadoras de íons e algodão modificado, pó-de-serra, haste de milho, areia e cascas de arroz, chegando-se a um rendimento maior que 50 % na remoção de corantes em afluentes,¹⁹ mas abaixo do padrão estimado eficaz, que é 80 %.¹¹

O processo de adsorção utiliza-se de três fatores, dois deste têm grande relevância para este trabalho: o estudo cinético que permite determinar o tempo em que a adsorção atinge o equilíbrio e o estudo do equilíbrio que permite saber se o processo é favorável ou não favorável. Para os modelos cinéticos podemos citar os modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e a difusão Intrapartícula. Onde os modelos pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem estabelece que a força motriz é a diferença entre a concentração adsorvida, em determinado tempo, e a concentração adsorvida no equilíbrio ($C_t - C_e$), e a taxa de adsorção é proporcional à força motriz, no

caso de Pseudo-Primeira Ordem, e o quadrado da força motriz no caso de pseudo-segunda ordem. A determinação da taxa de adsorção segue a equação da ordem de reação, de primeira ou segunda ordem.²⁰⁻²² HO e MCKAY²³ relacionam o modelo pseudo-segunda ordem à adsorção química, envolvendo transferência de elétrons. A difusão Intrapartícula admite que a transferência de massa é limitada pela difusão nos poros do adsorvente, e a adsorção ocorre na parte externa do adsorvente, dentro dos poros de fase sólida até o equilíbrio, assumindo três estágios.^{8,24,25} O estudo do equilíbrio da adsorção é baseado em isotermas, diagramas que mostram a relação entre a concentração de adsorvato em solução e a quantidade de adsorvato retida sobre o adsorvente no equilíbrio em uma determinada temperatura.¹⁴ Por meio das isotermas de adsorção é possível determinar a quantidade máxima de material retido sobre a superfície do adsorvente e a forma como adsorvente e adsorvato interagem. Segundo Langmuir, a adsorção ocorre em uma superfície uniforme com um número definido de sítios de mesma energia de ativação e cada sítio pode comportar apenas uma molécula, não ocorrendo interação entre elas.^{26,27} Freundlich propõe que a adsorção ocorre em multicamadas, atributos que descrevem muito bem superfícies heterogêneas que apresentam vários sítios de adsorção com diferentes energias de ativação.^{14,27}

Com base no que foi exposto acima, este estudo consiste em determinar a eficiência de adsorção dos corantes Azul Indosol (AI), Laranja Indosol (LI) e Vermelho Drimaren (VD), cujo nome comercial é Acid Red 88, sobre a argila branca e investigar os parâmetros cinéticos e de equilíbrio do processo de adsorção, com o objetivo de possibilitar seu uso no tratamento de efluentes industriais com corantes tóxicos.

2. Materiais e Métodos

2.1. Caracterização do material adsorvente

Para caracterização do material adsorvente, a argila foi submetida a difração de Raios-X realizadas num equipamento (XRD-6000, Shimadzu, Tóquio, Japão) com fonte de Cu ($K\alpha$), tensão de 40,0 kV, corrente de 30,0 mA, ângulo variando de 6° a 49° e velocidade de varredura de 2°min^{-1} . Os padrões do Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) foram adotados para identificar a amostra.

2.2. Preparo das soluções de corantes e obtenção das curvas de calibração

Os corantes AI, LI e VD comerciais foram devidamente secos em uma estufa (Q317, Quimis, Diadema, Brasil) a $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 60 min. Utilizou-se balança analítica (AG200, Gehaka, São Paulo, Brasil) com precisão de 0,0003 g, na pesagem das massas de AI, LI e VD, e uma solução mãe de cada corante com concentração igual a $100\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ foi preparada em meio aquoso, posteriormente diluída para obtenção de soluções padrões de 10, 20, 30, 40 e 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. A seguir, uma varredura no comprimento de onda de 400 nm a 700 nm foi feita com cada solução de corante para a determinação da absorção máxima, em um espectrofotômetro UV-Vis (UV-1800, Shimadzu, Quioto, Japão). Os comprimentos de onda determinados foram 590 nm, 411 nm e 512 nm para os corantes AI, LI e VD, respectivamente, utilizados na construção das curvas analítica.

2.3. Cinética de adsorção

A argila branca foi seca em uma estufa por 60 min, e o seguinte procedimento foi realizado para cada corante em triplicatas. Uma massa de 1,0 g e argila branca foi transferida para um coletor universal

cilíndrico (polipropileno) de 100 mL e, em seguida, adicionaram-se 25 mL do corante com concentração de $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e a solução foi submetida a agitação (CT-137, Cientec, Belo Horizonte, Brasil). A cada 60 min, alíquotas de 10 mL foram retiradas, centrifugadas e levadas ao espectrofotômetro para leitura da absorção, totalizando 360 min até atingir o equilíbrio. Os dados foram utilizados na Equação 1, para determinação do grau de adsorção dos corantes por argila branca.

$$q_t = \frac{V}{m}(C_o - C_t) \quad (1)$$

Onde q_t é a quantidade de corante adsorvido no tempo t ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$), V o volume inicial de corante (L), m a massa de adsorvente (g), C_o a concentração inicial de corante ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e C_t a concentração ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) do corante no tempo $t > 0$.²⁸

A determinação da quantidade de corante removido da solução no equilíbrio foi obtida por meio da Equação 2.

$$q_e = \frac{V}{m}(C_o - C_e) \quad (2)$$

Onde q_e é a quantidade de corante adsorvido no equilíbrio ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) e, C_e a concentração de corante no equilíbrio da solução ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).^{29,30}

Os modelos de isotermas de cinética de adsorção, pseudo-primeira ordem,^{21,22} pseudo-segunda ordem²¹⁻²³ e difusão intrapartícula^{8,24,25} foram aplicados segundo as Equações 3, 4 e 5 respectivamente:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303}t \quad (3)$$

Onde k_1 é a constante de velocidade (min^{-1}) que pode ser obtida por meio do gráfico de $\log(q_e - q_t)$ versus tempo t , que fornecerá uma inclinação $-k/2,303$ e um intercepto $\log q_e$.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (4)$$

Onde k_2 é a constante de velocidade de segunda ordem que pode ser obtida por meio do gráfico de t/q_t versus t , que fornecerá uma inclinação de $1/q_e$ e um intercepto $1/k_2 q_e^2$.

$$q_t = k_i t^{1/2} \quad (5)$$

Onde k_i é a constante de velocidade de Difusão Intrapartícula ($\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$) obtida num gráfico $q_t/t^{1/2} = k_i$.

2.4. Determinação da Eficiência e Equilíbrio de Adsorção

Os ensaios para determinação da eficiência e o equilíbrio de adsorção foram realizados para cada corante com as respectivas concentrações de 10, 20, 30, 40 e 50 mg L^{-1} , a temperatura ambiente, baseado na cinética de adsorção, por um intervalo de tempo de 6 h. A determinação da Eficiência do processo de adsorção foi determinado por meio da Equação 6.²¹

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \cdot 100 \quad (6)$$

Onde C_i e C_f representam as concentrações inicial e final (mg L^{-1}) dos corantes nas soluções, respectivamente.

Os modelos de isotermas de adsorção não linear e linear de Langmuir e linear de Freundlich, representados na Equações 7, 8 e 9 concomitantemente, foram adotados para o estudo do mecanismo de adsorção:

$$q_e = \frac{Q_0 b C_e}{1 + b C_e} \quad (7)$$

Onde Q_0 é a capacidade máxima de adsorção (mg g^{-1}) e b a energia de interação entre o adsorvato e adsorvente (L mg^{-1}). O modelo não linear de Langmuir é

representado por meio do gráfico de q_e versus C_e .¹⁴

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b} + \frac{C_e}{Q_0} \quad (8)$$

Onde os parâmetros $1/Q_0$ e $1/Q_0 b$ corresponde aos coeficientes angular e linear, respectivamente. O modelo linear de Langmuir é representado por meio do gráfico de C_e/q_e versus C_e .²⁶

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (9)$$

Onde K_F (L g^{-1}) indica a capacidade de adsorção^{26,29,31} e n entre 2 e 10, isoterma favorável.^{32,33} As constantes K_F e n podem ser determinadas a partir do gráfico de $\log q_e$ versus $\log C_e$, que fornecerá uma inclinação $1/n$ e K_F o ponto que intersecta o eixo q_e .^{31,33,34}

O fator de separação (R_L), que descreve se o processo de adsorção de Langmuir é favorável ou não, foi determinado por meio da Equação 10:

$$R_L = \frac{1}{1 + b \cdot C_0} \quad (10)$$

Onde $R_L > 1$ indica uma isoterma desfavorável, $R_L = 1$ linear, $0 < R_L < 1$ favorável, $R_L = 0$ irreversível e C_0 a concentração inicial mais alta (mg L^{-1}) de corante.^{26,31,35}

3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização do material adsorvente

A Figura 2 mostra o difratograma obtido da argila branca, onde pode-se observar fundamentalmente a presença de Zirconolita

(Nd-Substituído), com distância interplanar de 2,93Å; Quartzo, com 3,43Å, 3,10Å e 2,04Å e Sal amoníaco, com 2,23Å. Picos secundários

para estes compostos também foram detectados. Estes dados estão de acordo com as fichas cristalográficas de números 88-0415, 72-1601 e 01-1053, respectivamente

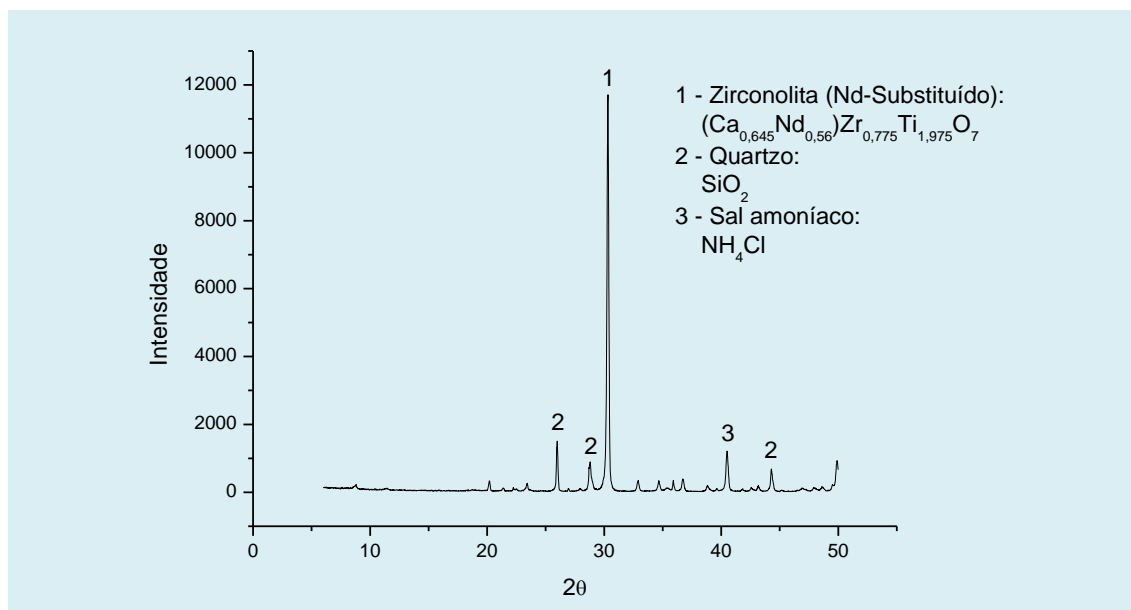


Figura 2. Difratoograma de raios X da argila Branca comercial

A zirconolita Nd-substituída $((Ca_{0,645}Nd_{0,56})Zr_{0,775}Ti_{1,975}O_7)$ pertence a uma classe de material polimorfo que deriva da zirconolita $(CaZnTi_2O_7)$, a presença de neodímio nos sítios de cálcio e zircônio lhe confere carga positiva.³⁶ Esta carga por sua vez, ao interagir com os sítios negativos das moléculas de corantes aniônicos, favorece a adsorção.

3.2. Cinética da Adsorção

O critério utilizado no ensaio da cinética de adsorção foi a quantidade de corante removido da solução pelo adsorvente em relação ao tempo até atingir o equilíbrio. A Figura 3 (a, b, c e d) mostra as curvas de isotermas de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda, difusão intrapartícula e a variação da concentração em relação ao tempo.

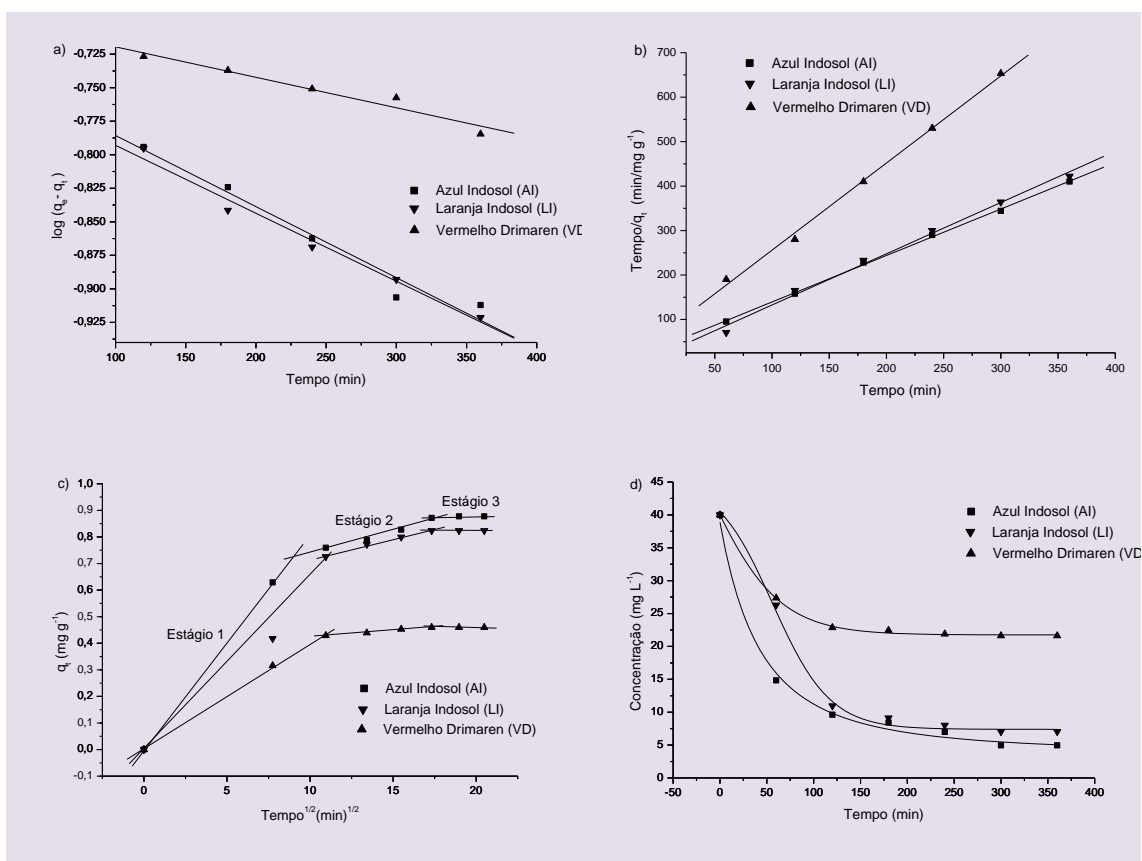


Figura 3. Cinética de adsorção (a) pseudo-primeira ordem, (b) pseudo-segunda ordem, (c) difusão intrapartícula, o estágio 1 indica que a adsorção ocorre na superfície externa do adsorvente, o estágio 2 indica que a adsorção se limita para dentro dos poros de fase sólida e o estágio 3 é a fase de equilíbrio e (d) Concentração equilíbrio vs tempo

Os modelos cinéticos Pseudo-Primeira Ordem (Figura 3a) e Pseudo-segunda ordem (Figura 3b) foram avaliados por meio de comparação dos valores experimentais e calculados, como coeficientes de correlação R^2 , relação entre q_e experimental e q_e calculado. Percebe-se pela Figura 3c que as linhas dos gráficos não passam pela origem, sendo um indicativo que outro mecanismo de interação deve estar atuando. A Figura 3d mostra a cinética de adsorção experimental

com mesmo comportamento para cada corante, onde percebe-se que houve uma diminuição rápida da concentração de corante na solução em 120 minutos, adsorção gradual entre 120 e 300 minutos, e equilíbrio após estes tempos.

A Tabela 1 mostra os parâmetros cinéticos determinados no ensaio de cinética de adsorção dos corantes AI, LI e VD sobre a argila branca, conforme as curvas analíticas de cada modelo.

Tabela 1. Parâmetros de isotermas cinéticas obtidos no ensaio de cinética de adsorção

Isoterma	Parâmetros	AI	LI	VD
Pseudo-Primeira Ordem	$k_1 \times 10^3$ (min^{-1})	$1,24 \pm 0,05$	$1,24 \pm 0,07$	$0,52 \pm 0,02$
	q_e (mg g^{-1})	$0,19 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,04$	$0,20 \pm 0,01$
	R^2	0,98	0,99	0,97
Pseudo-Segunda Ordem	$k_2 \times 10^2$ ($\text{mg g}^{-1}\text{min}^{-1}$)	$3,1 \pm 0,1$	$7,8 \pm 0,4$	$6,4 \pm 0,2$
	q_e (mg g^{-1})	$0,96 \pm 0,05$	$0,87 \pm 0,07$	$0,51 \pm 0,02$
	R^2	0,99	0,99	0,99
Difusão Intrapartícula	$k_{\text{dif},1} \times 10^2$ ($\text{mg g}^{-1}\text{min}^{-1}$)	$7,2 \pm 0,4$	$6,2 \pm 1,4$	$3,9 \pm 0,2$
	$R_{\text{dif},1}^2$	0,98	0,95	0,99
	$R_{\text{dif},2}^2$	0,99	0,99	0,91
Experimental	q_e (mg g^{-1})	$0,92 \pm 0,05$	$0,85 \pm 0,09$	$0,50 \pm 0,03$

Com base nos parâmetros mostrados na Tabela 1, é possível perceber que o processo de adsorção se ajustou melhor ao mecanismo de pseudo-segunda ordem para os três corantes, com valores de R^2 ($R^2_{\text{AI}}=0,99$, $R^2_{\text{LI}}=0,99$, $R^2_{\text{VD}}=0,99$) favoráveis, mais próximos da unidade e valores de q_e calculado próximo ao valor q_e no experimento.

3.3. Eficiência e Equilíbrio de Adsorção

Estudo de adsorção envolvendo corantes com adsorvente de caráter catiônico considera que a grande diferença de eficiência de adsorção entre corantes aniônicos está relacionada ao número de grupos aniônicos (SO_3^-) presentes nas estruturas químicas dos corantes.¹² A Figura 4 mostra as porcentagens de eficiência de adsorção dos corantes AI, LI e VD em soluções de concentração de 10 a 50

mg L^{-1} . É possível verificar que a eficiência de adsorção da argila branca é aceitável em todas as concentrações somente para AI e LI, dado padrão de eficiência aceitável em 80%.¹¹ Com eficiência de 100 % em concentração de 10 e 20 mg L^{-1} de AI, havendo o decréscimo da eficiência em concentrações maiores 30 mg L^{-1} , mas mantida acima de 80 % o grau de rendimento. O mesmo aconteceu para LI com eficiência de 96,88 % a 80,23 % para as concentrações de 10 mg L^{-1} a 50 mg L^{-1} . A eficiência para VD ocorre apenas em concentrações de 10 e 20 mg L^{-1} com 82,21 % e 80 %, em concentrações maiores a eficiência não atinge o padrão aceitável e chega a 43,51 %.

A eficiência da argila branca utilizada pode ser superior a outros valores de eficiência encontrados na literatura para outros tipos de argilas.^{8,10}

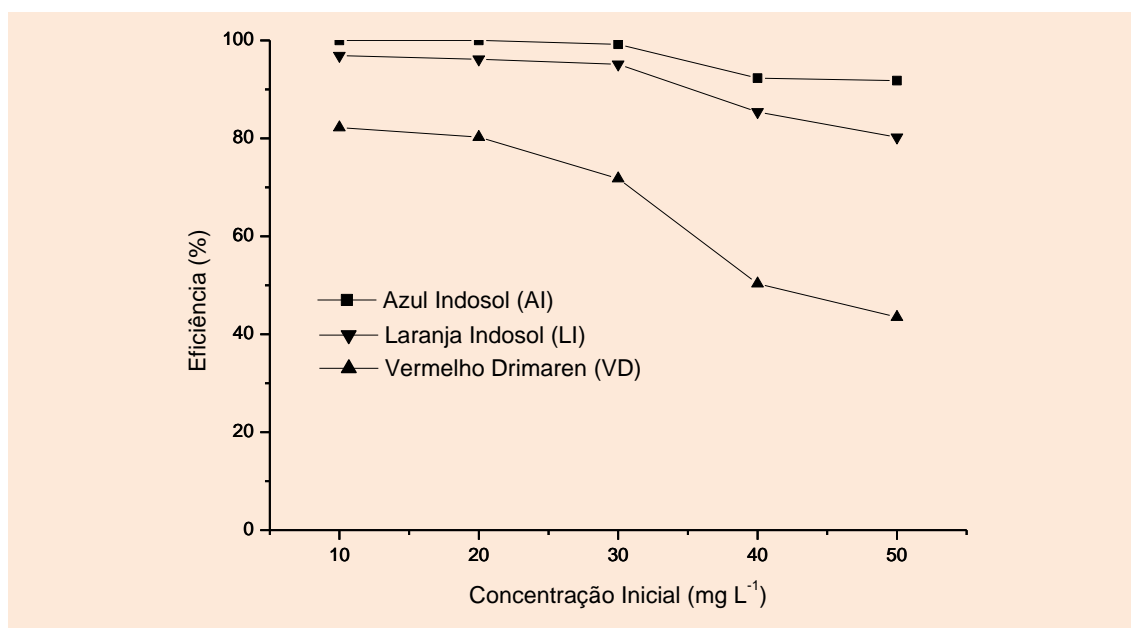


Figura 4. Eficiência de adsorção dos corantes sobre a argila branca

Ao julgar o caráter aniônico dos corantes, a maior eficiência de adsorção do AI e LI em relação ao VD se deve ao número de grupos sulfônicos presentes nas estruturas químicas desses compostos; e a máxima eficiência para AI, pelos complexos de cobre aniônicos na molécula.

O equilíbrio de adsorção é baseado em isotermas de adsorção que permite determinar a quantidade máxima de material retido sobre a superfície do adsorvente, e a forma como o adsorvente e adsorvato interagem. A Figura 5 (a, b e c) mostra isotermas construídas com os dados coletados, ajustadas segundo Langmuir e Freundlich. Considerando a classificação para isotermas de adsorção, a Figura 5(a) mostra que as curvas dos três corantes são do tipo L, com a curvatura inicial indicando uma diminuição dos sítios ativos e formação de monocamada na superfície da argila, sendo

também um indicativo de quimissorção.^{27,30,37} Portanto, o modelo de Langmuir não-linear com as curvas convexas foi o mais adequado ao ensaio.

Os parâmetros permitem prever a forma da isoterma e indicar se é favorável ou não. Assim, os parâmetros foram obtidos utilizando a regressão linear, Figuras 5 (b e c), e aplicando os modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich, descritos na Tabela 2. Por meio dos resultados dos parâmetros, é possível perceber que todas as isotermas são favoráveis, com fator de separação R_L na faixa de 0-1 para todos os corantes ($R_{LAI}=0,022$, $R_{LLI}=0,200$, $R_{LVD}=0,410$). Os valores dos parâmetros b indica que o AI ($b = 9,2$) apresentou maior interação com a argila branca. O modelo de Langmuir foi que melhor se ajustou aos dados experimentais com coeficiente de determinação R^2 mais próximo de um, comparado ao de Freundlich.

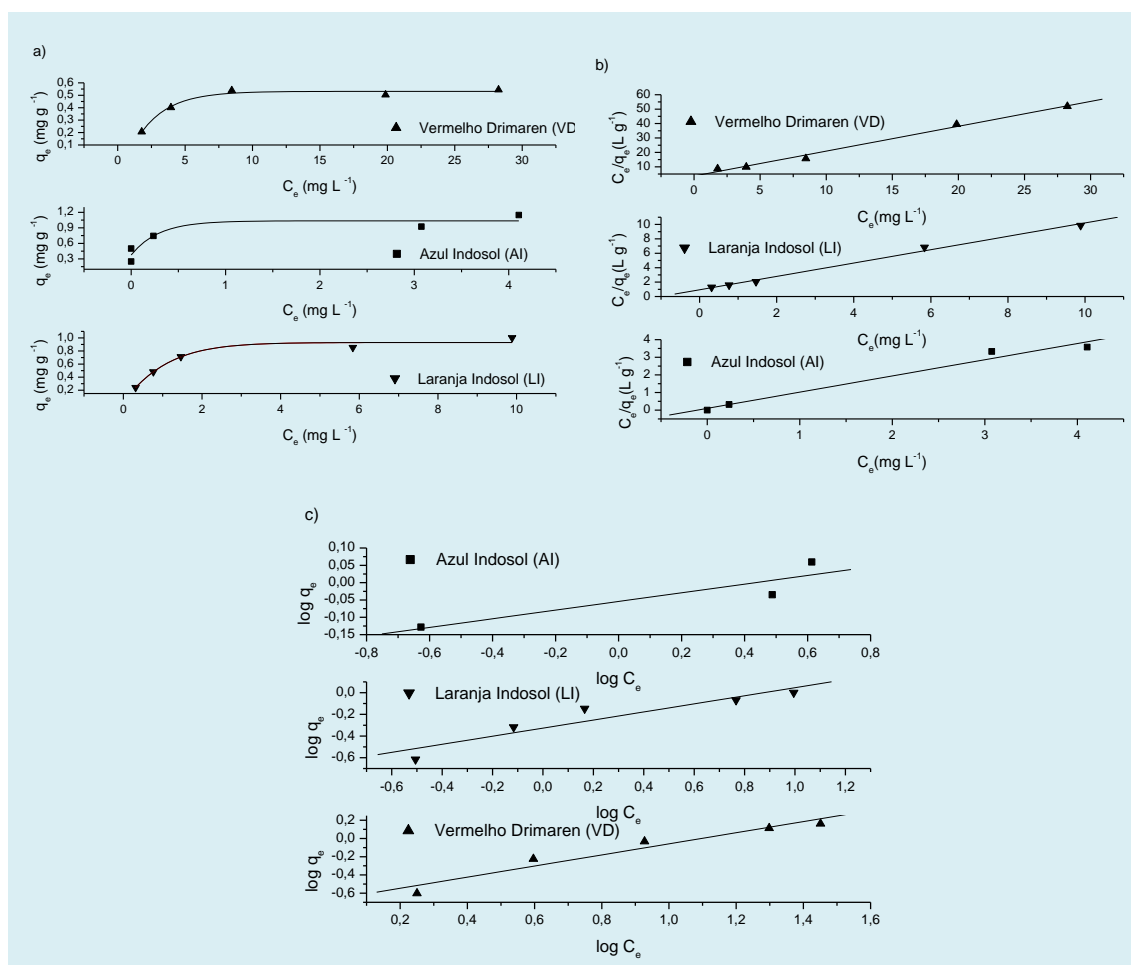


Figura 5. Isothermas para determinação dos parâmetros de Langmuir e Freundlich: a) Não linear de Langmuir, b) Linear de Langmuir e c) Linear de Freundlich

Tabela 2. Parâmetros das isothermas de Langmuir e Freundlich na forma linear

Corante	Langmuir				Freundlich		
	$R_L \times 10^1$	Q_0 mg g^{-1}	b L mg^{-1}	R^2	K_F (L g^{-1})	n	R^2
AI	$0,022 \pm 0,002$	$1,09 \pm 0,05$	$9,2 \pm 0,4$	0,99	$1,13 \pm 0,01$	$8,0 \pm 0,4$	0,91
LI	$0,200 \pm 0,010$	$1,08 \pm 0,03$	$0,98 \pm 0,03$	0,99	$2,1 \pm 0,1$	$2,7 \pm 0,1$	0,94
VD	$0,410 \pm 0,010$	$0,58 \pm 0,02$	$0,47 \pm 0,02$	0,99	$4,7 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,1$	0,98

4. Conclusão

Os resultados mostram que a argila pode ser uma alternativa a ser considerada no tratamento de efluentes que contenha os corantes Azul indosol e Laranja indosol, pois o estudo demonstra que o rendimento pode

chegar a 100 % no caso de algumas concentrações de AI e nas demais concentrações, nunca é menor que o padrão sugerido nas literaturas de 80 %, ¹¹ em todas as concentrações estudadas para AI e LI, podendo-se, posteriormente, investigar a possibilidade de submeter a argila branca a um tratamento, para aumentar sua capacidade de adsorção, técnica já testada

com outros materiais.^{9,11,12} O estudo cinético de adsorção mostrou que os dados obtidos acederam ao modelo de pseudo-segunda ordem. A análise do mecanismo de equilíbrio de adsorção indicou que o modelo de Langmuir se ajustou melhor aos dados experimentais, com coeficiente de determinação R^2 mais próximo de um, para os três corantes. O estudo foi baseado no mecanismo de cinética de adsorção e equilíbrio de adsorção. Estudos posteriores do mecanismo estérico poderá ser realizado para melhor explicar as interações que ocorre entre adsorvente e adsorvato e a influência que essas interações exercem no rendimento da adsorção dos corantes por meio de argila branca, bem como o baixo rendimento de VD em relação a AI e LI.

Agradecimentos

A. S. C. agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- ¹ Queiroz, M. T. A.; Lima, L. R. P.; Alvim, L. B.; Leão, M. M. D.; Amorim, C. C. Gestão de resíduos da indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering* **2016**, *8*, 114. [Link]
- ² Moraes, C. M.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Campinas, 2010. [Link]
- ³ Clariant; Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos em acordo com a NBR-14725, 2007. Disponível em: <http://www.clariquimica.com.br/pdf/pigmentos_aditivos/Indosol/Indosol-Blue-SF-GL-P.pdf>. Acesso em: 10 maio 2018.
- ⁴ Pereira, R. A.; Brito, N. N. Degradação Fotoquímica H_2O_2/UV de Corante Têxtil Reativo. *Holos Environmet* **2013**, *13*, 74. [Link]
- ⁵ Bankolea, P. O.; Adekunle, A. A.; Govindwar, S. P. Enhanced decolorization and biodegradation of acid red 88 dye by newly isolated fungus, *Achaetomium strumarium*. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2018**, *6*, 1589. [CrossRef]
- ⁶ Ramos, J. P.; Pavão, M. F. U.; Barra, E. C.; Vilhena, K. S. S.; Gouveia, F. P. Potencial de Adsorção do Resíduo Proveniente do Processo de obtenção do silício metálico. *Revista Virtual de Química* **2017**, *9*, 751. [CrossRef]
- ⁷ Pereira, E.; Oliveira, L. C. A.; Vallone, A.; Sapag, K.; Pereira, M. Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: Utilização de $FeCl_3$ como agente ativante. *Química Nova* **2008**, *31*, 1296. [CrossRef]
- ⁸ Egbuna, S. O.; Ugadu, E.; Chime, T. O. Kinetic Study of the Methylene Blue Adsorption on White Clay as a Local Adsorbent. *International Journal of Scientific & Engineering Research* **2015**, *6*, 648. [Link]
- ⁹ Lima, S.; Silva, M.; Vitoriano, J.; Alves, C.; *Resumo do 55º Congresso Brasileiro de Química*, Goiás, Brasil, 2015.
- ¹⁰ Silva, J. O.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Roraima, 2014. [Link]
- ¹¹ Cavalcanti, J. V. F. L.; Abreu, C. A. M.; Motta Sobrinho, M. A. Preparação e utilização de uma argila esmectítica organofílica como adsorvente de fenol. *Química Nova* **2009**, *32*, 2051. [CrossRef]
- ¹² Dallago, R. M.; Smaniotto, A.; Oliveira, L. C. A. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. *Química Nova* **2005**, *28*, 433. [CrossRef]
- ¹³ Zimmermann, E.; Correia, J.; Vasques, A. R.; Valle, J. A. B.; Valle, R. C. S. C.; Aguiar, C. R. L.; Bertolli, S. L.; *Resumo do 4º Congresso Científico Têxtil e Moda*, Santa Catarina, Brasil, 2016.
- ¹⁴ Nascimento, R. F.; Sousa-Neto, V. O.; Melo, D. Q.; Sousa, F. W.; Cavalcante, R. M.; *Uso de bioadsorventes lignocelulósicos na remoção*

- de poluentes de efluentes aquosos; UFC: Fortaleza, 2014.
- ¹⁵ Conceição, F. T.; Pichinelli, B. C.; Silva, M. S. G.; Antunes, M. L. P.; Lopes, M. S.; Moruzzi, R. B. Adsorção de Cd²⁺, Ni²⁺ e Zn²⁺ em soluções aquosas usando anidrita e lama vermelha. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **2017**, *22*, 665. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶ Ferreira-Filho, S. S.; Marchetto, M. Otimização multi-objetivo de estações de tratamento de águas de abastecimento: remoção de turbidez, carbono orgânico total e gosto e odor. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **2006**, *11*, 7. [[CrossRef](#)]
- ¹⁷ Neves, C. F. C.; Schvartzman, M. M. A. M. Separação de CO₂ por meio da tecnologia PSA. *Química Nova* **2005**, *28*, 622. [[CrossRef](#)]
- ¹⁸ Patricio, J. S.; Hotza, D.; Noni-Junior, A. Argilas adsorventes aplicadas à clarificação de óleos vegetais. *Cerâmica* **2014**, *60*, 171. [[CrossRef](#)]
- ¹⁹ Vasques, A. R.; Souza, S. M. A. G. U.; Weissenberg, L.; Souza, A. A. U.; Valle, J. A. B. Adsorção dos corantes RO16, RR2 e RR141 utilizando lodo residual da indústria têxtil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*. **2011**, *16*, 245. [[Link](#)]
- ²⁰ Silveira Neta, J. J.; Silva, C. J.; Moreira, G. C.; Reis, C.; Reis, E. L. Remoção dos corantes Reactive Blue 21 e Direct Red 80 utilizando resíduos de sementes de Mabea fistulifera Mart. como biossorvente. *Revista Ambiente & Água* **2012**, *7*, 104. [[CrossRef](#)]
- ²¹ Nonkumwong, J.; Ananta, S.; Srisombat, L. Effective removal of lead(II) from wastewater by amine-functionalized magnesium ferrite nanoparticles. *RSC Advances* **2016**, *6*, 47382. [[CrossRef](#)]
- ²² Silva, A.B.C.; Andrade, R.M.F.; Freire, F.B.; Nagalli, A.; Carvalho, K.Q.; Passig, F.H.; Kreutz, C. Análise da utilização de cerâmica vermelha como adsorvente na remoção do corante têxtil Direct Blue de uma solução aquosa. *Matéria* **2017**, *2*. [[CrossRef](#)]
- ²³ Ho, Y. S.; Mckay, G. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry* **1999**, *34*, 451. [[CrossRef](#)]
- ²⁴ Zhang, K.; Yang, S. T. Effect of pH on Fumaric Acid Adsorption onto IRA900 Ion Exchange Resin. *Separation Science and Technology* **2015**, *50*, 56. [[CrossRef](#)]
- ²⁵ Silva, M. S.; Lages, A. S.; Santana, G. P. Physical and chemical study of lattice kaolinites and their interaction with orthophosphate. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **2017**, *89*, 1391. [[CrossRef](#)]
- ²⁶ Pereira, P. H. F.; Silva, M. L. C. P. Estudo da adsorção de surfactante catiônico em uma matriz inorgânica preparada via óxido de nióbio. *Cerâmica* **2009**, *55*, 312. [[CrossRef](#)]
- ²⁷ Giles, C. H.; Macewan, T. H.; Nakhwa, S. N.; Smith, D. Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. *Journal of the Chemical Society* **1960**, 3973. [[CrossRef](#)]
- ²⁸ Shahmohammadi-Kalalagh, S.; Babazadeh, H.; Nazemi, A. H.; Manshoury, M. Isotherm and Kinetic Studies on Adsorption of Pb, Zn and Cu by Kaolinite. *Caspian Journal of Environmental Sciences* **2011**, *9*, 243. [[Link](#)]
- ²⁹ Freitas, J. M. A. S.; Netto, A. M.; Corrêa, M. M.; Xavier, B. T. L.; Assis, F. X. Potassium adsorption in soil cultivated with sugarcane. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **2017**, *90*, 541. [[CrossRef](#)]
- ³⁰ Carvalho, T. E. M.; Fungaro, D. A.; Izidoro, J. C. Adsorção do corante reativo laranja 16 de soluções aquosas por zeólita sintética. *Química Nova* **2010**, *33*, 358. [[CrossRef](#)]
- ³¹ Rocha, O. R. S.; Nascimento, G. E.; Campos, N. F.; Silva, V. L.; Duarte, M. M. M. B. Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R. *Química Nova* **2012**, *35*, 1369. [[CrossRef](#)]
- ³² Ayawei, N.; Ebelegi, A. N.; Wankasi, D. Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms. *Journal of Chemistry* **2017**, 2017. [[CrossRef](#)]
- ³³ Febrianto, J.; Kosasih, A. N.; Sunarso, J.; Ju, Y. H.; Indraswati, N.; Ismadji, S. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy

metals using biosorbent: A summary of recent studies. *Journal of Hazardous Materials* **2009**, *162*, 616. [[CrossRef](#)]

³⁴ Mori, M.; Cassella, R. J. Estudo da sorção do corante catiônico violeta cristal por espuma de poliuretano em meio aquoso contendo dodecilsulfato de sódio. *Química Nova* **2009**, *32*, 2039. [[CrossRef](#)]

³⁵ Silva, R. T. S.; Dervanosk, A.; Haupenthal, L. D.; Souza, S. M. A. G. U.; Souza, A. A. U.; Luz, C. Simulação numérica e ensaios

experimentais da remoção de Fe (III) da água para utilização nas indústrias alimentícias. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* **2015**, *20*, 653. [[CrossRef](#)]

³⁶ Clark, B. M.; Sundaram, S. K.; Misture, S. T. Polymorphic Transitions in Cerium-Substituted Zirconolite (CaZrTi₂O₇). *Scientific Reports* **2017**, *7*, 5920. [[CrossRef](#)]

³⁷ McBride, M. B.; *Environmetal chemistry of soils*, Oxford University Press: New York, 1994.