

**Processo de bioSORÇÃO de corante utilizando casca de tangerina (*citrus reticulata*)****Dye bioSORPTION process using tangerine shell (*citrus reticulata*)**

DOI:10.34117/bjdv6n6-641

Recebimento dos originais: 29/05/2020

Aceitação para publicação: 29/06/2020

**Laiza Bergamasco Beltran**

Departamento de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900 Maringá-PR, Brasil  
laizabeltran@hotmail.com

**Eduarda Freitas Diogo Januário**

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá Av. Colombo, 5790, 87020-900 Maringá-PR, Brasil  
eduardafjanuario@gmail.com

**Lennon Alonso de Araújo**

Departamento de Biotecnologia, Genética e Biologia Celular Universidade Estadual de Maringá Av. Colombo, 5790, 87020-900 Maringá-PR, Brasil  
alonso\_new@live.com

**Ana Clara Souza**

Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá Av. Colombo, 5790, 87020-900 Maringá-PR, Brasil.  
anacsouza00@gmail.com

**Caroline Eli Pulzatto Meloni**

Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá Av. Colombo, 5790, 87020-900 Maringá-PR, Brasil.  
carolpmeloni@gmail.com

**Pablo Eduardo Magiero**

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá Av. Colombo, 5790, 87020-900 Maringá-PR, Brasil  
pablofracamagiero@gmail.com

**Rosângela Bergamasco**

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá Av. Colombo, 5790, 87020-900 Maringá-PR, Brasil  
rbergamasco@uem.br

**Angélica Marquetotti Salcedo Vieira**

Departamento de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900 Maringá-PR, Brasil  
amsvieira@uem.br

**RESUMO**

A escassez de água em um futuro próximo soa como um alerta sobre o uso indiscriminado desse recurso, pois sua disponibilidade está cada vez mais limitada. Diante deste cenário, há a necessidade de novas tecnologias que visam a manutenção dos recursos hídricos. Nos últimos anos, o uso contínuo de corantes na indústria causa uma preocupação, uma vez que estes apresentam um alto potencial de contaminação dos recursos naturais, quando descartados no meio ambiente, devido sua alta toxicidade. O azul de metileno é um corante catiônico de ampla aplicação industrial, sendo utilizado na pigmentação de diversos produtos. A remoção completa desse contaminante em efluentes industriais é indispensável. Logo, no presente trabalho, utilizou-se como biossorvente as cascas da fruta *Citrus reticulata*, conhecida popularmente como tangerina, com a finalidade de avaliar a capacidade adsorptiva e a porcentagem de remoção do corante azul de metileno por meio de ensaios de adsorção em batelada. Os dados obtidos experimentalmente mostram que o biossorvente apresentou um alto potencial de remoção (> 90%), com capacidade máxima de adsorção de 100,73 mg g<sup>-1</sup>, comprovando sua eficiência para utilização em tratamentos de efluentes. Portanto, trata-se de um processo economicamente viável e menos agressivo ao meio ambiente, uma vez que usa como adsorvente um resíduo da agroindústria.

**Palavras-chave:** Azul de metileno; Biossorvente; Efluente.

**ABSTRACT**

The scarcity of water in the near future sounds like a warning about the indiscriminate use of this resource, as its availability is increasingly limited. Faced with this scenario, there is a need for new technologies that aim to maintain water resources. In recent years, the continued use of dyes in industry is a concern, since they have a high potential for contamination of natural resources, when discarded in the environment, due to their high toxicity. In the present work, the peels of the *Citrus reticulata* fruit were used as a biosorbent, popularly known as tangerine, in order to evaluate the adsorptive capacity and the percentage of removal of the methylene blue dye by batch adsorption tests. The data obtained experimentally show that the biosorbent showed a high removal potential (> 90%), with a maximum adsorption capacity of 100.73 mg g<sup>-1</sup>, proving its efficiency for use in effluent treatments. It is an economically viable process that is less aggressive to the environment, since it uses as an adsorbent or agroindustry residue.

**Keywords:** Methylene blue; Biosorbent; Effluent

**1 INTRODUÇÃO**

O constante crescimento da poluição dos corpos hídricos é um dos mais graves impasses relacionados às questões ambientais, visto que a água é um dos recursos de maior relevância à existência dos seres vivos. Logo, há a necessidade de que esta esteja presente de forma e quantidade adequadas ao uso (BRAGA et al., 2002; NANDI et al., 2008; MOREIRA, 2010; LEAL et al., 2012).

Atualmente, uma das categorias industriais que mais geram resíduos ao meio ambiente é o setor têxtil devido ao alto consumo de água, principalmente nas etapas de tintura e acabamento, gerando em torno de 50 a 100 L de efluente por quilo de tecido produzido (SAFARIKOVÁ et al., 2005; ARSLAN-ALATON et al., 2008; CUNHA, 2014; DILARRI et al., 2016). A descarga direta do efluente gerado, sem tratamento prévio adequado, nos corpos hídricos pode afetar o ecossistema em longo prazo, visto que, mesmo em pequenas concentrações (< 1 ppm), a presença de pigmentos tende

a bloquear a passagem da luz pela água e diminuir a eficiência da fotossíntese em plantas aquáticas, causando um impacto adverso em seu crescimento, prejudicando, conseqüentemente, a fauna e a flora (OTHMAN et al., 2018; KUNDU et al., 2018).

Os corantes possuem diversos componentes químicos nocivos, com propriedades mutagênicas e carcinogênicas prejudiciais aos seres vivos. Além disso, são resistentes a biodegradação, fotodegradação e ação de agentes oxidantes (FUNGARO; BRUNO, 2009; GHAZI; MOKRI et al., 2015; ADENIYI; IGHALO, 2019). Esta classe de contaminantes se enquadra como poluentes emergentes, isto é, substâncias potencialmente tóxicas que não foram incluídas no sistema de monitoramento de rotina pelos órgãos de meio ambiente e na legislação pertinente à qualidade ambiental (HORVAT et al., 2012).

Dentre os corantes prejudiciais ao meio ambiente, destacam-se os que contêm grupos funcionais catiônicos, devido aos sais coloridos derivados de aminas que dificultam a sua degradação (PARIDA et al., 2010). O azul de metileno é um corante catiônico de ampla aplicação industrial, sendo utilizado na pigmentação de lãs, algodão e papel. Entretanto, seu uso, em excesso, pode ocasionar reações negativas à saúde, como distúrbios do sistema nervoso, problemas renais e hepáticos, alergias cutâneas e dermatites (KUNDU; CHOWDHURY; NASKAR, 2018).

Assim, é necessária a utilização de técnicas avançadas no tratamento das águas superficiais, uma vez que os métodos convencionais não são suficientes para remoção total deste contaminante (SEIFFERT, 2007). Vale ressaltar que, os segmentos econômicos devem reduzir progressivamente o impacto ambiental, fornecer serviços que satisfaçam as necessidades humanas e aplicar tecnologias que possam contribuir para a diminuição das fontes contaminantes (HIRSCHLER, 2008; CAVALCANTE et al., 2013).

Há vários métodos de recuperação da água que diminuem os impactos causados pelo despejo de efluentes contendo corantes, tais como, coagulação, floculação, adsorção, biossorção, filtração por membrana, degradação foto/biológica, oxidação química, entre outros. (BHATTACHARYYA; GUPTA, 2006; ABUKHADRA et al., 2019). Dentre estes métodos, a biossorção se destaca, pois propõe a utilização de biomassas de origem vegetal e resíduos agroindustriais que apresentem baixo custo, alta seletividade e eficiência (VOLESKY, 2007; CUNHA, 2014). Estudos recentes demonstram resultados promissores quanto ao uso de resíduos industriais e agrícolas no desenvolvimento de biossorbentes para a descontaminação de ambientes aquáticos, como a casca de arroz (TARLEY; ARRUDA, 2004), palha de trigo (DANG et al., 2009), casca de soja (CUSIOLI, et al., 2019), resíduos da casca do coco (VIDOVIX et al., 2019) entre outros.

Somente em 2018, segundo dados do IBGE (2018), o Brasil foi responsável pela produção de aproximadamente 996.872 toneladas de tangerina. Grande parte desta produção foi dirigida para a

fabricação de suco, geléias, doces e balas, tendo como consequência o descarte de uma grande quantidade de cascas por não apresentarem utilidade, sendo descartadas em lixões e aterros sanitários do país. Visto a importância da pesquisa sobre novos bio sorventes para remoção de corantes sintéticos do meio aquoso, o bio sorvente feito a partir da casca da tangerina se mostra não apenas como uma forma de solução diante do desperdício, como também uma alternativa viável para a recuperação dos corpos hídricos.

Diante do exposto, o presente trabalho utilizou a casca da fruta *Citrus reticulata*, popularmente conhecida como tangerina para avaliar a adsorção de soluções aquosas contendo o corante azul de metileno para possível aplicação no tratamento de efluentes, visto que este bio sorvente é uma alternativa viável para a recuperação dos corpos hídricos.

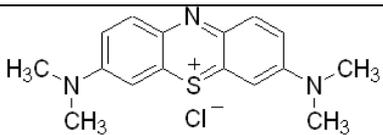
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos do presente estudo foram realizados no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental do Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

### 2.1 ADSORBATO

Foram realizados testes de adsorção com o contaminante Azul de Metileno, o qual foi cedido pela empresa Duas Rodas (Jaraguá do Sul, SC, Brasil). As concentrações deste corante foram determinadas através do espectrofotômetro UV-Vis (HACH DR 5000), no comprimento de onda de 665 nm, utilizando uma curva padrão previamente preparada nas faixas de 0 a 15 mg L<sup>-1</sup>. As soluções de azul de metileno foram preparadas utilizando água deionizada. As características do corante estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do corante Azul de Metileno

Azul de Metileno				
Estrutura Química	Fórmula Molecular	Massa Molar (g mol <sup>-1</sup> )	Classe	Solubilidade em água (g L <sup>-1</sup> )
	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> N <sub>3</sub> SCl	319.86	Catiônico	20

Fonte: (ZHUO et al., 2008)

## 2.2 BIOSSORVENTE

O material adsorvente utilizado foi a casca de *Citrus reticulata* (frutas adquiridas em comércio local da cidade de Maringá, PR, Brasil) para remoção do corante Azul de Metileno. Para isso, as frutas foram descascadas e lavaram-se as cascas com detergente neutro para sua higienização. Em seguida, as mesmas foram secas em estufa (Sterilifer - Digital time), na temperatura de 100 °C durante 48 horas. Após secas, as cascas foram trituradas em um moedor de café (Cadence - MDR3), com a finalidade de reduzir a granulometria de seus poros em até 100 mesh (Peneiras Granulométricas (Tamis/Bertel) e manter uniformidade de seus tamanhos.

## 2.3 CARACTERIZAÇÃO

A morfologia do biossorvente foi observada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV, FEI Quanta 250). As amostras foram revestidas com uma fina camada de ouro para conduzir eletricidade e protegê-las dos raios de elétrons.

## 2.4 ENSAIOS DE BIOSSORÇÃO

Os testes de adsorção em batelada foram realizados em uma mesa incubadora com agitação orbital (Tecnal TE-4200), na temperatura de 25 °C e sob agitação de 150 rpm, com a finalidade de avaliar a capacidade de adsorção do biossorvente para remoção do corante azul de metileno. Para isso, utilizaram-se frascos com tampas de roscas fechadas hermeticamente. Os experimentos foram realizados em duplicata.

O percentual de retenção do corante e a capacidade de adsorção do biossorvente foram calculados por meio das Equações 1 e 2:

$$\% \text{ Remoção} = \left(1 - \frac{C_f}{C_i}\right) \cdot 100 \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_f) \cdot V}{m} \quad (2)$$

onde  $C_i$  e  $C_f$  correspondem às concentrações ( $\text{mg L}^{-1}$ ) iniciais e finais, respectivamente,  $V$  é o volume da solução de azul de metileno (L) e  $m$  é a massa de biossorvente (g).

Vale ressaltar que, para mensurar a porcentagem de remoção de azul de metileno, utilizaram-se membranas de acetato de celulose (0,45 mm) para separar de cada amostra o biossorvente e a solução de corante e, sequentemente, determinar suas concentrações.

### 2.4.1 Efeito de Concentração

A princípio, para determinar o efeito da dosagem do bioissorvente, variou-se a sua concentração (0,4, 1, 2 e 4 g L<sup>-1</sup>), mantendo fixo o volume (25 mL) e concentração (50 mg L<sup>-1</sup>) da solução de azul de metileno e 24 horas de tempo de contato do adsorvente/adsorbato. O pH da solução de corante utilizada neste teste foi o natural da solução corante (pH 7,09).

### 2.4.2 Efeito de pH

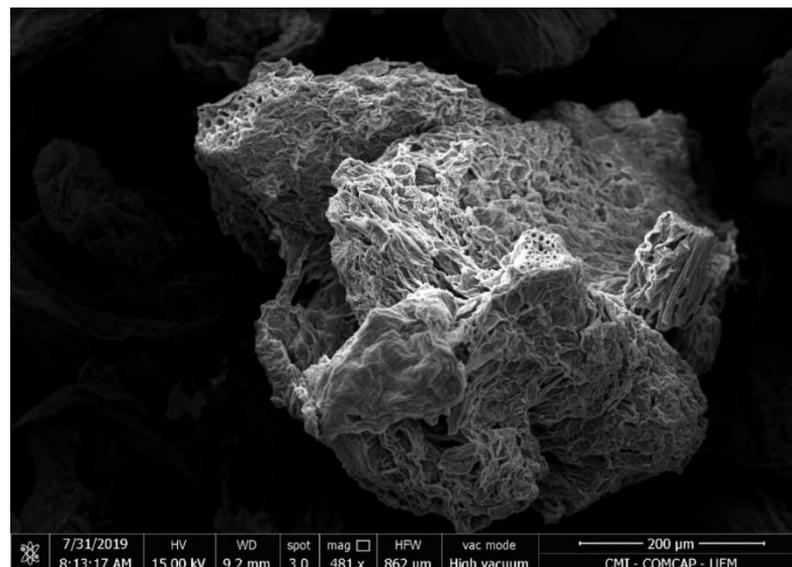
Depois de determinar a melhor concentração de trabalho do adsorvente, estudou-se a capacidade de adsorção para azul de metileno em vários pHs da solução inicial (4, 7, 10 e natural). Vale ressaltar que, os pHs foram ajustados com soluções de 0,1 M de ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH). A concentração e volume do corante empregados neste estudo foram as mesmas que o teste de dosagem do adsorvente. Assim, foi possível determinar as condições ótimas de concentração e pH para adsorção de azul de metileno pelo bioissorvente estudado.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO BIOISSORVENTE

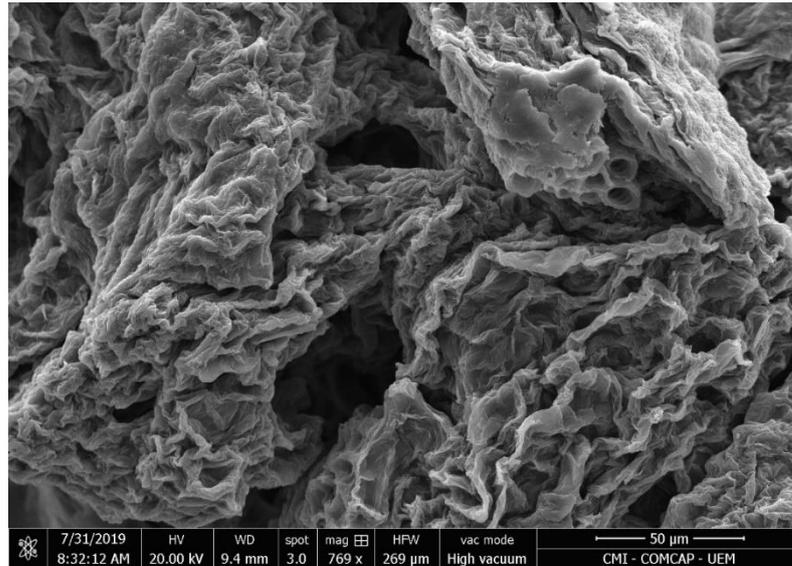
As micrografias obtidas pela Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) estão representadas nas figuras 1 e 2, as quais tem um aumento de 481x e 789x, respectivamente.

Figura 1: Microscopia eletrônica de varredura do bioissorvente. Aumento de 481x



Fonte: Autores (2020)

Figura 2: Microscopia eletrônica de varredura do bioissorvente. Aumento de 769x



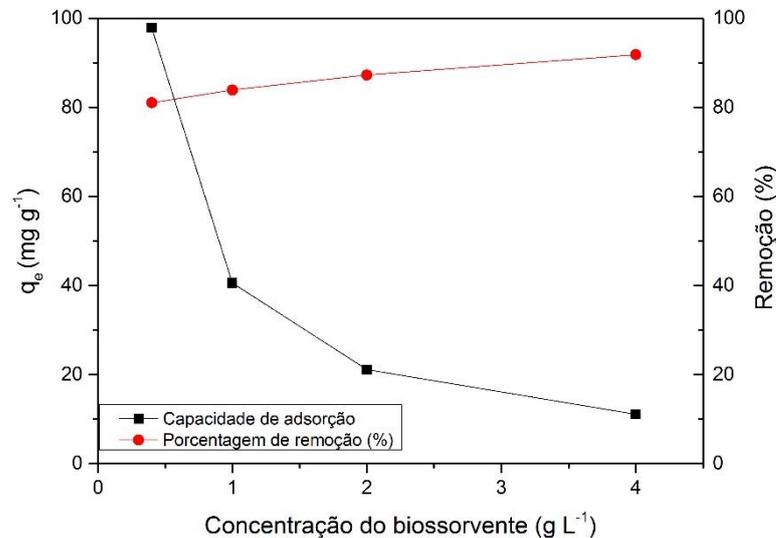
Fonte: Autores (2020)

As micrografias mostram uma superfície heterogênea contendo muitas fibras e poros. Uma das justificativas para uma boa eficácia na bioissorção de contaminantes é o número de poros, pois segundo Wang e Chen, (2009) este tipo de morfologia favorece a área de contato entre bioissorvente e contaminante e sua subsequente fixação.

### 3.2 EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DO BIOISSORVENTE

A Figura 3 representa a influência da concentração de bioissorvente na capacidade de bioissorção e porcentagem de remoção.

Figura 3: Influência da concentração de Bioissorvente na capacidade de bioissorção e porcentagem de remoção



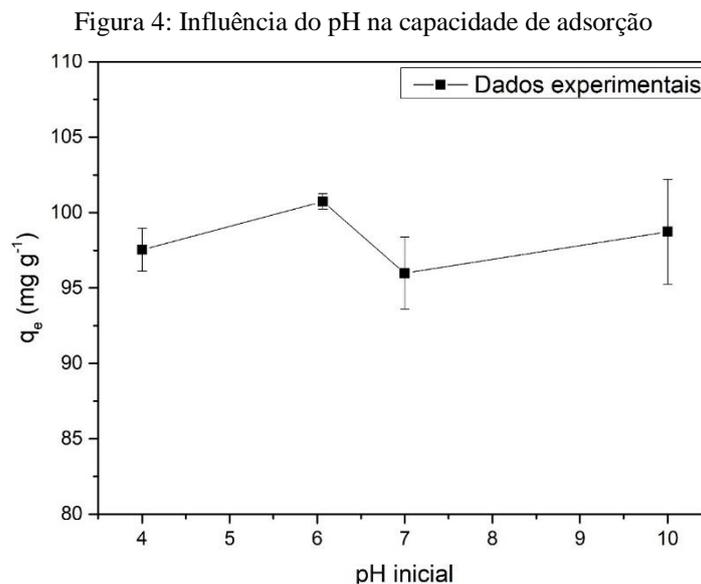
Fonte: Autores (2020)

Observou-se que a capacidade de bioadsorção foi maior com a concentração de  $0,4 \text{ g L}^{-1}$  de bioadsorvente, chegando a  $97,86 \text{ mg g}^{-1}$  e a maior porcentagem de remoção foi com a concentração de  $4 \text{ g L}^{-1}$ , sendo esta de  $91,81\%$  de remoção do corante. Nota-se que o aumento na capacidade de bioadsorção se dá com a diminuição da concentração do bioadsorvente. Isto é esperado, devido ao balanço de massas (Eq.2) usado para determinar o valor de  $q_e$  (VIDOVIX et al., 2019).

Em contrapartida, o aumento da concentração do bioadsorvente também aumenta a taxa de porcentagem de remoção do corante azul de metileno. Isto pode ser explicado pela maior disponibilidade de locais de ligação para bioadsorção, o que favorece a porcentagem de remoção do contaminante (FONTECHA-CÁMARA et al., 2008). Assim, o valor ótimo de concentração de  $0,4 \text{ g L}^{-1}$  obteve a maior taxa de capacidade de bioadsorção.

### 3.3 EFEITO DO PH

A Figura 4 apresenta a influência do pH na capacidade de adsorção e na porcentagem de remoção para azul de metileno.



Fonte: Autores (2020)

Observa-se na Figura 4, que a melhor capacidade de bioadsorção ocorre em pH 6, no entanto a diferença entre os valores obtidos não se mostrou significativa, optando-se pela utilização das soluções em pH natural ( $\pm 7$ ).  $100,73 \text{ mg g}^{-1}$  não, pelo gráfico a melhor condição foi em pH 6, e não pH 7, pode ser que a diferença seja pouca e não justifique o ajuste de pH, tem que rever a frase. Este resultado demonstra que o pH da solução não precisa ser ajustado para que o processo seja eficiente, otimizando o processo de bioadsorção, tornando-o mais barato e mais simples, pois diminui os custos com os reagentes usados.

A eficácia da adsorção entre o biossorbente estudado com o corante catiônico também pode ser justificada devido a composição química da casca da tangerina, pois, a casca dos frutos cítricos possuem diversos compostos, como terpenos, carotenoides, cumarinas, furanocumarinas e flavonoides, que se ligam com os átomos presentes na estrutura do azul de metileno (AHMAD et al., 2006).

#### **4 CONCLUSÃO**

A biossorção por meio da casca da tangerina (*Citrus Reticulata*) apresentou resultados relevantes para a remoção do azul de metileno do meio aquoso, com uma capacidade adsorptiva de aproximadamente 100 mg.g<sup>-1</sup> em pH natural, o que torna o processo simples, rápido e barato. A caracterização morfológica demonstra que a sua estrutura se comporta com heterogeneidade, apresentando superfícies consideravelmente porosas que favorece o processo de biossorção. Além disso, o biossorbente apresentou uma alta taxa de remoção de azul de metileno (> 90%), demonstrando sua eficiência nos tratamentos de águas superficiais contaminadas com o corante estudado.

#### **CONFLITO DE INTERESSE**

Os autores declaram não ter nenhum conflito de interesse.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores gostariam de agradecer ao CONCAP, CAPES e CNPq.

#### **REFERÊNCIAS**

- ABUKHADRA, M. R.; ALLAH, A. F. Synthesis and characterization of kaolinite nanotubes (KNTs) as a novel carrier for 5-fluorouracil of high encapsulation properties and controlled release. **Inorganic Chemistry Communications**, v. 103, p. 30–36, 2019.
- ADENIYI, A. G.; IGHALO, J. O. Biosorption of pollutants by plant leaves: An empirical review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 3, p. 103-100, 1 jun. 2019.
- AHMAD, M. M.; REHMAN, S.; IQBAL, Z.; ANJUM, F. M.; SULTAN, J. I. Genetic variability to essential oil composition in four citrus fruit species. **Pakistan Journal of Botany, Karachi**, v. 38, n. 2, p. 319-324, 2006.
- ARSLAN-ALATON, I.; GURSOY, B. H.; SCHMIDT, J. E. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. **Dyes and Pigments** v. 78, p. 117-130, 2008.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo: Prentice Hall, p.305, 2002.

BHATTACHARYYA, K.G. E GUPTA, S.S. Pb(II) uptake by kaolinite and montmorillonite in aqueous medium: Influence of acid activation of the clays. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. v. 277, p. 191- 200 ,2006.

CAVALCANTE, L. S., BATISTA, N. C., BADAPANDA, T., COSTA, M. G. S., LI, M. S., AVANSI, W., MASTELARO, V. R., LONGO, E., ESPINOSA, J. W. M., & GURGEL, M. F. C. Local electronic structure, optical bandgap and photoluminescence (PL) properties of Ba(Zr<sub>0.75</sub>Ti<sub>0.25</sub>)O<sub>3</sub> powders. *Materials Science in Semiconductor Processing* , 16(3), 1035-1045, 2013.

CUSIOLI, L.F, QUESADA, H.B, BAPTISTA, A.T.A, GOMES, R.G, BERGAMASCO, R. Soybean hulls as a low-cost biosorbent for removal of methylene blue contaminant. *Environ Prog Sustainable Energy*. v. 39, ed. 2, 2020.

CUNHA, B. S. Utilização de biossorventes alternativos na remoção de corantes têxteis. Trabalho conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

COSTA FILHO, D. V. et al. Aproveitamento de resíduos agroindustriais na elaboração de subprodutos. **II Congresso Internacional das Ciências Agrárias COINTER - PDVAgro**, p. 8, 2017.

DANG, V.B.H.; DOAN, H.D.; DANG-VU, T.; LOHI, A., Equilibrium and kinetics of biosorption of cadmium(II) and copper(II) ions by wheat straw. *Bioresource Technology*, v.100, p.211–219, 2009.

DILARRI, G.; DE ALMEIDA, É. J. R.; PECORA, H. B.; CORSO, C. R. Removal of Dye Toxicity from an Aqueous Solution Using an Industrial Strain of *Saccharomyces Cerevisiae* (Meyen). *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 227, p. 269, 2016.

FONTECHA-CÂMARA, M. A. et al. Kinetics of diuron and amitrole adsorption from aqueous solution on activated carbons. *Journal of Hazardous Materials*, v. 156, n. 1–3, p. 472–477, 15 ago. 2008.

FUNGARO, D. A.; BRUNO, M. Utilização de zeólitas sintetizadas a partir de cinza de carvão para remoção de azul de metileno em água. *Orbital*. 2009.

GHAZI MOKRI, H. S.; MODIRSHAHLA, N.; BEHNAJADY, M. A.; VAHID, B. Adsorption of C.I. Acid Red 97 dye from aqueous solution onto walnut shell: kinetics, thermodynamics parameters, isotherms. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 12, p. 1401-1408, 2015.

HORVAT, A. J. M.; PETROVIC, M.; BABIC, S.; PAVLOVIC, D. M.; ASPERGER, D.; PELKO, S.; MANCE, A. D.; KASTELAN-MACAN, M. Analysis, occurrence and fate anthelmintcs and their transformation products in the environment. *Trends in Analytical Chemistry*, v. 31, p. 61-24, 2012.

HIRSCHLER, R., Book review. *Color Research and Application*, 33(3), p. 254-256, 2008.

IBGE - Produção Agrícola Municipal, 2018. Disponível em: [http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_pdf/dados/brasil/tangerina/b1\\_tangerina.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_pdf/dados/brasil/tangerina/b1_tangerina.pdf) Acesso em: 06 jun. 2020.

KUNDU, S.; CHOWDHURY, I. H.; NASKAR, M. K. Hierarchical Porous Carbon Nanospheres for Efficient Removal of Toxic Organic Water Contaminants of Phenol and Methylene Blue. **Journal of Chemical and Engineering**, v. 63, n. 3, p. 559–573, 2018.

LEAL, P. V. B. Estudo da adsorção do corante azul de metileno em resíduos de babaçu. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. Vol. 3, n. 4: p. 166-171, 2012.

MOREIRA, D. R. Desenvolvimento de Adsorventes Naturais para Tratamento de Efluentes de Galvanoplastia. p. 79, 2010.

NANDI, B. K.; GOSWAMI, A.; PURKAIT, M. K., Removal of cationic dyes from aqueous solutions by kaolin: Kinetic and equilibrium studies. **Applied Clay Science**, 42, 583-591, 2008.

OLIVEIRA, S. P.; SILVA, W. L. L.; VIANA, R. R. Avaliação da capacidade de adsorção do corante azul de metileno em soluções aquosas em caulinita natural e intercalada com acetato de potássio. **Cerâmica**, v. 59, p. 338-344, 2013.

OTHMAN, N. H. et al. Adsorption kinetics of methylene blue dyes onto magnetic graphene oxide. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 2, p. 2803–2811, 1 abr. 2018.

PINTO, G.A.S.; BRITO, E.S.; SILVA, F.L.H.; SANTOS, S.F.M. MACEDO, G.R. Fermentação em estado sólido: uma alternativa para o aproveitamento e valorização de resíduos agroindustriais. **Revista de Química Industrial**, v.74, n.724, p.17-20, 2006.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: Desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 271–283, 2017.

PARIDA, K. M. et al. A kinetic, thermodynamic, and mechanistic approach toward adsorption of methylene blue over water-washed manganese nodule leached residues, *Ind. Eng. Chem. Res* v. 50, n. 2, p. 843–848, 2011.

SAFARIKOVÁ, M.; PTCÁKOVÁ, L.; KIBRIKOVÁ, I.; SAFARIKI, I. Biosorption of water-soluble dyes on magnetically modified *Saccharomyces cerevisiae* subsp. *Uvarum* cells. **Chemosphere**, v. 59, p. 831–835, 2005.

SEIFFERT, M. E. B. (2007). *ISO 14.001: sistemas de gestão ambiental: implantação objetiva e econômica* (3. ed.). São Paulo: Atlas

SILVA, NAYARA C.R. Using banana peels as biosorbent for the adsorption of lead (II) in aqueous solution. 2014 45 f. Completion of course work (Bachelor of Environmental Engineering) - **Federal Technological University of Paraná**. Campo Mourão, 2014.

SOUZA, N. K. Adsorção de corantes catiônicos e aniônicos em solução aquosa usando novos materiais bi-funcionalizados a partir do bagaço de cana-de-açúcar. 2013. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

TARLEY, C.R.T.; ARRUDA, M.A.Z. Biosorption of heavy metals using rice milling by-products. Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents. **Chemosphere**, v. 54, p. 987-995, 2004.

VIDOVIX, T. B.; FREITAS, E.; JANUÁRIO, D. Bisfenol A adsorption using a low-cost adsorbent prepared from residues of babassu coconut peels. **Environmental Technology**, p. 1–13, 2019.

WANG, J.; CHEN, C. Biosorbents for heavy metals removal and their future. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 2, p. 195–226, 2009.

ZHUO, Q. et al., Degradation of methylene blue: Optimization of operating condition through a statistical technique and environmental estimate of the treated wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 153, n. 1–2, p. 44–51, 2008.