

**DESENVOLVIMENTO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E SUA APLICAÇÃO NA ADSORÇÃO DE ÁCIDO ORGÂNICO****Milla Araújo de Almeida (\*), Luiza Coatti, Yussra Abdul Ghanin, Renata Colombo**\* Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo; e-mail: [milla@usp.br](mailto:milla@usp.br)**RESUMO**

A preocupação com o destino final dos resíduos sólidos vem sendo discutida há alguns anos em diversas esferas. Os resíduos agroindustriais tem recebido especial atenção pelo seu potencial de aproveitamento. O bagaço de cana-de-açúcar é um dos resíduos agroindustriais mais abundantes no Brasil, com geração média de 240-280 kg/t<sup>1</sup> de cana processada. Pesquisas têm sido desenvolvidas visando o uso dessa matéria-prima para diferentes aplicações, dentre elas a fabricação de adsorventes. Alguns adsorventes, como carvão ativado, já são utilizados para adsorção de substâncias químicas de diversas matrizes. Alguns adsorventes, como carvão ativado, já são utilizados para adsorção de substâncias químicas de diversas matrizes, incluindo compostos inorgânicos e orgânicos, como os ácidos. Visando propor uma nova rota de aproveitamento para o bagaço de cana-de-açúcar, este artigo descreve o desenvolvimento de um adsorvente utilizando bagaço de cana-de-açúcar, ativado com ZnCl<sub>2</sub>, e a sua aplicação na adsorção do ácido málico, muito utilizado na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética. Inicialmente foi realizada a produção do carvão ativado com a preparação do bagaço de cana-de-açúcar com lavagem, fervura, banho com ZnCl<sub>2</sub>, trituração e peneiramento. Após isso procedeu-se com carbonização em mufla à 600 °C por 1 h. O teste de adsorção foi avaliado utilizando dois modelos diferentes de isoterma: Freundlich e Langmuir. As concentrações do ácido málico foram determinadas antes e após a agitação com carvão ativado. As amostras foram analisadas por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) a temperatura de 28 °C e tempo de análise de 20 minutos. Os resultados mostraram que a capacidade de adsorção do carvão ativado feito com bagaço de cana-de-açúcar corresponde a 35-53 %. O modelo de Freundlich foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais obtidos para o carvão do bagaço. A capacidade de adsorção do carvão do bagaço está em torno de 47,03 Lmg<sup>-1</sup> e sua capacidade máxima de adsorção foi de 0,02 mgg<sup>-1</sup>. Os parâmetros de Langmuir e de Freundlich indicam que o processo de adsorção é favorável. Ambos apresentaram valores dentro das faixas de indicação de adsorção favorável ( $0 < R_L < 1$  e  $1 < n < 10$ ). Com base nos achados desta pesquisa é possível concluir que o carvão do bagaço de cana-de-açúcar ativado com cloreto de zinco demonstrou ser um potencial adsorvente para processos diversos, onde se requer a retenção de ácido málico em meio aquoso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carvão ativado, bagaço de cana-de-açúcar, adsorvente, ácido málico, química verde**ABSTRACT**

The concern with the final destination of solid waste has been discussed for several years in several spheres. Agro-industrial waste has special attention for its potential for use. Sugarcane bagasse is one of the most abundant agro-industrial residues in Brazil, with an average generation of 240-280 kg/t<sup>1</sup> of processed cane. Researches have been developed to use this raw material for different applications, among them the manufacture of adsorbents. Some adsorbents, such as activated carbon, are already used for adsorption of applied substances from different matrices. Some adsorbents, such as activated carbon, are already used for adsorption of substances composed of several matrices, including inorganic and liquid compounds, such as acids. the development of an adsorbent using sugarcane bagasse, activated with ZnCl<sub>2</sub>, and its application in the adsorption of malic acid, widely used in the food, pharmaceutical and cosmetic industry. Initially, a production of activated carbon was carried out with a preparation of the sugarcane bagasse with washing, boiling, bathing with ZnCl<sub>2</sub>, crushing and sifting. After that, proceed with muffle carbonization at 600 °C for 1 h. The adsorption test was evaluated using two different isotherm models: Freundlich and Langmuir. How to hit malic acid were determined before and after activation with activated carbon. The Analyzes were analyzed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) at a temperature of 28 °C and an analysis time of 20 minutes. The results induced that the adsorption capacity of activated carbon made with sugarcane bagasse corresponds to 35-53%. The Freundlich model was the one that best fitted the experimental data collected for bagasse coal. The adsorption capacity of bagasse coal is around 47.03 Lmg<sup>-1</sup> and its maximum adsorption capacity was 0.02 mgg<sup>-1</sup>. Langmuir and Freundlich parameters indicate that the adsorption process is favorable. Both values within the favorable adsorption indication ranges ( $0 < R_L < 1$  and  $1 < n < 10$ ). Based on the findings of this research, it is possible to conclude that the sugarcane bagasse charcoal activated with zinc chloride is a potential adsorbent for various processes, where the retention of malic acid in aqueous processes is required.

**KEY WORDS:** Activated carbon, sugarcane bagasse, adsorbent, malic acid, green chemistry



### INTRODUÇÃO

A expansão demográfica juntamente com desenvolvimento agrícola e industrial, ocorrido nas últimas décadas, tem promovido diversas alterações no meio ambiente, em especial a escassez e contaminação de recursos naturais. A contaminação ocorre pelas diversas atividades antrópicas como, por exemplo, o lançamento inadequado de efluentes domésticos e industriais e a disposição irregular de resíduos sólidos (BELISÁRIO et al., 2009).

A preocupação com o destino final dos resíduos sólidos vem sendo discutida há alguns anos nas esferas nacional e internacional. Diversas leis, normas, resoluções e financiamentos têm sido estabelecidos com intuito de que novas metodologias e/ou tecnologias sejam aplicadas para mitigação dessa problemática (BELISÁRIO et al., 2009).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), promulgada no dia 2 de agosto de 2010 prevê que o país se adeque à tendência mundial de gestão por sistemas integrados, como a incineração energética, a redução e a reutilização destes resíduos (BRASIL, 2012).

Dentre as classes de resíduos previstas na PNRS, estão os resíduos agroindustriais que são aqueles gerados durante o processamento e/ou beneficiamentos das matérias primas nos diversos setores industriais. Diferentes tipos de resíduos são gerados durante o processo industrial, sendo que a biomassa tem recebido especial atenção pelo seu potencial de aproveitamento (SANTOS et al., 2020).

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas visando o uso de biomassa como matéria-prima para geração de energia, biogás, insumos para alimentação animal e produtos para diferentes aplicações como para a construção civil (SANTOS et al., 2020). Algumas biomassas, tais como, bagaço de cana-de-açúcar, casca de banana, sabugo de milho e borra de café também tem demonstrado potencial de aplicação como adsorventes de compostos orgânicos e inorgânicos para diferentes finalidades (BANSAL, GOYA, 2005; GUPTA et al., 2012). Neste artigo está sendo descrito o desenvolvimento de um adsorvente utilizando o bagaço de cana-de-açúcar e a sua aplicação na adsorção de ácidos orgânicos.

Alguns adsorventes, como carvão ativado, já são utilizados há décadas na adsorção de substâncias químicas de diversas matrizes (GUPTA et al., 2002; PEREIRA et al., 2008). Sua aplicação em escalas laboratoriais e industriais incluem processos de purificação, desintoxicação, desodorização, filtração, descoloração ou para modificar sabor e concentração de uma grande variedade de matrizes líquidas e gasosas (AMIN, 2008). São quimicamente inertes e possuem considerável capacidade de adsorção de substância devido a sua elevada porosidade interna. Ainda possui alta permeabilidade combinada com resistência e baixa susceptibilidade a ataque químico (RAYMUNDO et al., 2010). O que o torna um adsorvente de amplo uso é a sua baixa reatividade térmica, resistência a grandes variações de pH no meio e capacidade de regeneração (AMIN, 2008).

A capacidade de adsorção do carvão ativado depende de características como distribuição e tamanho dos poros, área superficial, pH do meio, solubilidade, polaridade, grupamentos funcionais superficiais, presença de outros íons no meio (BANSAL, GOYA, 2005). Essas características dependem da matéria-prima utilizada para a fabricação do carvão, do processo de fabricação e da sua superfície interna. Geralmente é obtido a partir da combustão controlada (temperatura de 800 a 1000 °C e com baixo teor de oxigênio). Após triturado em diferentes granulometrias, pode apresentar maior superfície interna quando granulado ou menor superfície interna, quando em forma de pó (BANSAL, GOYA, 2005; PEREIRA et al., 2008).

Recentemente tem havido um foco no uso de tecnologias apropriadas para fabricação de adsorventes cada vez mais eficientes e de baixo custo. Dentre estas tecnologias está o uso de resíduos agroindustriais, de forma independente ou associados com materiais, como o carvão ativado, para otimizar a sua capacidade adsorviva (AMIN, 2008; PEREIRA et al., 2008).

O bagaço de cana-de-açúcar, um dos resíduos agroindustriais mais abundantes no Brasil (geração de 240 kg a 280 kg por tonelada de cana processada) (SANTOS et al., 2020; MARQUES, 2009), tem sido utilizado com sucesso como adsorventes na remoção de derivados do petróleo, corantes têxteis, metais pesados, pesticidas e fármacos (GUPTA et al., 2002).

A síntese de materiais adsorventes, como o carvão ativado, a partir do bagaço de cana-de-açúcar é considerada uma solução sustentável devido ao baixo valor agregado a este tipo de biomassa e à mesma ser proveniente de uma agricultura abundante e disponível localmente (RAYMUNDO et al., 2010).

O adsorvente produzido a partir do bagaço de cana-de-açúcar é constituído basicamente por macromoléculas com substâncias como, lignina, celulose e hemiceluloses ou outras estruturas de carbono. Seus sítios adsorvivos possuem grupos amina, hidroxila, carbonila e carboxílico, com capacidade de adsorção pelos fenômenos de troca iônica ou por complexação (AMIN, 2008).

O uso de adsorventes tem se mostrado eficaz em diversas aplicações industriais, tais como, remoção de contaminantes, retenção de compostos de interesse ou separação de compostos em misturas complexas. A capacidade de adsorção destes materiais incluem compostos inorgânicos e orgânicos, como os ácidos.

Os ácidos orgânicos ocorrem naturalmente nos alimentos como resultado de processos bioquímicos, metabólicos, hidrólises e crescimento bacteriano. Na indústria, de forma isolada ou associada, esses ácidos são utilizados como conservantes e aditivos no intuito de prevenir a deterioração dos alimentos e prolongar a vida útil de ingredientes e



alimentos perecíveis. Também podem ser utilizados para controlar a disseminação microbiana e de patógenos na produção e processamento de alimentos pré e pós-colheita (RICKE, 2003).

O ácido hidroxibutanodioico (ácido málico) é um dos ácidos orgânicos mais difundidos na natureza, predominando em grande número vegetais. É formado pela quebra dos açúcares nos tecidos com clorofila, catabolizado durante a maturação (ASHURST, 2016; BELITZ, GROSCH, 1997). Na indústria alimentícia, esse ácido é utilizado como acidulante em bebidas de baixas calorias, por aumentar a percepção da sacarose. Além disso, melhora o sabor e estabiliza a cor em sucos de fruta comerciais, gaseificados e não-gaseificados. Como conservante é utilizado principalmente para inibir o desenvolvimento de microrganismos causadores de alterações no sabor e odor de alimentos industrializados, pois contribui para o equilíbrio químico e controle microbiológico (ASHURST, 2016; BELITZ, GROSCH, 1997; PEREIRA et al., 2010). Na indústria farmacêutica, o ácido málico é utilizado na higienização e regeneração de ferimentos e queimaduras. Na indústria cosmética é usado para ajustar o pH das formulações de diversos produtos (SEQUEIRA, 2012). O seu processo de produção industrial ocorre através de processos bioquímico, utilizando enzima fumarase, ou químico, que envolve a hidratação do ácido fumárico a altas pressões e temperaturas e geralmente catalisado por ácidos fortes. Por apresentar menos custo e maior rendimento o segundo processo é o mais utilizado em escala industrial, no entanto, esta rota produz o ácido maleico como subproduto indesejado, necessitando posteriormente de processos de purificação (ZHENG, 2006). A purificação do ácido málico, é realizada por diversas técnicas, algumas delas empregando o uso de adsorventes.

A maior barreira na aplicação de técnicas que envolvam o uso de adsorventes pelas indústrias é o alto custo dos materiais atualmente disponíveis para uso comercial. Desta forma o desenvolvimento de materiais adsorventes a partir de resíduos que possam agregar baixo custo e maior acessibilidade (AMIN, 2008; RAYMUNDO et al., 2010) podem contribuir nos processos industriais e também no aproveitamento destes resíduos, minimizando os atuais impactos ambientais causados pela disposição destes resíduos (BELISÁRIO et al., 2009).

### OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho foi a produção de carvão de bagaço de cana-de-açúcar ativado com cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ) e sua aplicação como adsorvente de ácido orgânico.

### METODOLOGIA UTILIZADA

#### Produção do Carvão Ativado

A produção do carvão ativado foi realizada com base em metodologias já descrita na literatura (RAYMUNDO et al., 2010; THUAN et al., 2016), com adaptações. Neste procedimento, 1,2 kg de bagaço de cana-de-açúcar foi previamente lavado com água para eliminação de partículas sólidas. Em seguida, o bagaço foi fervido em água destilada na proporção 1:1 m/v por 30 min a 100° C, a fim de remover açúcares solúveis presente. Seguiu-se com secagem em temperatura ambiente (sob exaustão de ar) por 24 h. Após isso, o bagaço foi mantido à temperatura ambiente, por 24 horas, em banho contendo 115 g de cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ) e 13 L de água. Em seguida foi lavado abundantemente em água destilada, seco por mais 24 h à temperatura ambiente. Após a secagem o mesmo foi triturado, peneirado em tamiz (10 mesh) e carbonizados em mufla à 600 °C por 1 h (RIBEIRO et al, 2011).

#### Testes de Adsorção

Visando avaliar a capacidade adsorptiva do carvão ativado produzido, nesta etapa realizou-se um estudo prévio de adsorção utilizando o ácido málico.

Experimentos foram realizados utilizando-se 4 concentrações diferentes do referido ácido (18,18; 9,09; 4,54 e 2,27  $mgL^{-1}$ ). Para cada um dos experimentos 0,5 gramas do carvão foi misturado com 9 mL da solução contendo o ácido. As amostras foram submetidas a agitação magnética, a 200 rpm, por 1 h, à temperatura ambiente. Após o período de agitação as amostras foram filtradas em membranas de acetato de celulose de 0,45  $\mu m$  e analisadas por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).

O teste de adsorção foi avaliado utilizando dois modelos diferentes de isoterma: Freundlich e Langmuir.

#### Análises Cromatográficas CLAE-UV

As concentrações do ácido málico antes e após a agitação com carvão foram determinadas por CLAE usando um sistema Shimadzu (Kyoto, Japão) Prominence LC 20 AT modular, composto por duas bombas CBM-20, um forno CTO-10AS, um amostrador automático SIL 20A, um detector de comprimento de onda variável SPD-20A e um sistema de dados LC-10 Workstation Class. A separação foi realizada em uma coluna Shim-pack XR-ODS II C18 (100 mm x 3,0 mm x 2,2  $\mu m$ ). A fase móvel foi constituída de uma solução tampão constituída por 70  $gL^{-1}$  de dihidrogenado de potássio e 14  $gL^{-1}$  de sulfato de amônio, com pH corrigido para 2,1 com ácido ortofosfórico. O modo de eluição foi



isocrático, com fluxo de 0,2 mLmin<sup>-1</sup>, temperatura de 28 °C, 10 µL, detecção à 210 nm e tempo de análise de 20 minutos.

Uma solução do branco da amostra, constituído por água ultrapura submetida à mesma condição adsorptiva descrita para o ácido málico, foi analisada para verificação de interferentes.

## RESULTADOS OBTIDOS

O carvão ativado produzido neste estudo apresentou características macroscópicas semelhantes aos carvões descritos na literatura, fabricados utilizando metodologias semelhantes (GARG et al., 2009; THUAN et al., 2016). A caracterização do material por espectrometria no Infravermelho e a análise da morfologia superficial microscopia eletrônica de varredura se encontram em andamento (PINHEIRO; LEMOS; DANTAS, 2013).

No estudo de adsorção, o branco da amostra mostrou que o bagaço não liberou para a solução de ácidos nenhum composto orgânico interferente e que sua capacidade de adsorção para o ácido málico foi de 35-53 %, dependendo da concentração inicial do ácido em solução.

O comportamento da adsorção foi avaliado quantitativamente através das isotermas de adsorção. Os modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich são os mais frequentemente utilizados para descrever o equilíbrio de adsorção e por isso foram utilizadas neste estudo (PRADHAN et al., 2017; FREITAS et al., 2009; SILVA; MIRANDA, 2013).

Como pode ser observado na Figura 1 e Tabela 1, os valores dos coeficientes de correlação mostraram que o modelo de Freundlich foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais obtidos para o carvão do bagaço.

A constante de Freundlich  $K_F$ , característica do sistema, indicou que a capacidade de adsorção do carvão do bagaço está em torno de 47,03 Lmg<sup>-1</sup>. A capacidade máxima de adsorção apresentada por  $q_{max}$ , no modelo de Langmuir, foi de 0,02 mgg<sup>-1</sup>.

Os parâmetros  $R_L$ , utilizado no modelo de Langmuir, e  $1/n$ , utilizado no modelo de Freundlich, indicam se o processo de adsorção é favorável. Ambos apresentaram valores dentro das faixas de indicação de adsorção favorável ( $0 < R_L < 1$  e  $1 < n < 10$ ), conforme pode ser observado na Tabela 1.

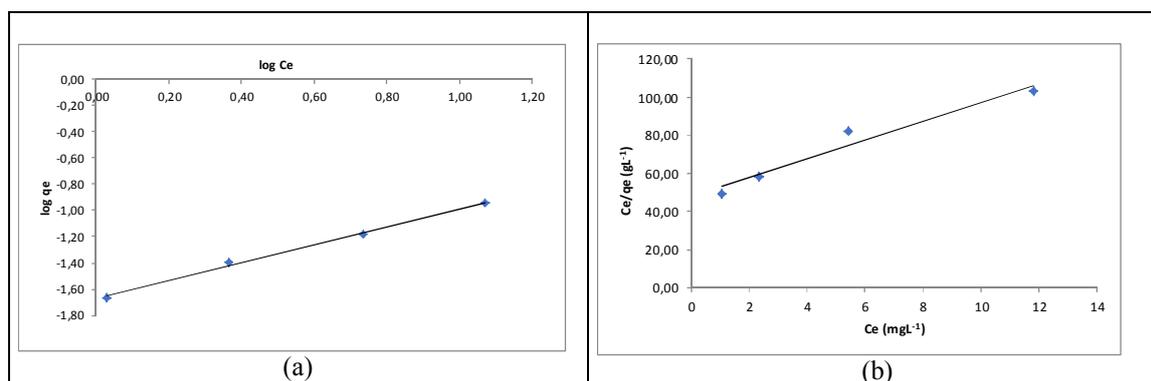


Figura 1: Isoterma de adsorção do ácido málico em meio aquoso: (a) modelo de Freundlich e (b) modelo de Langmuir.

Tabela 1. Parâmetros de Langmuir e Freundlich para adsorção do ácido málico pelo carvão do bagaço de cana-de-açúcar.

Adsorbato	Constante de Langmuir			Constante de Freundlich			
	$q_{max}$ (mgg <sup>-1</sup> )	$R_L$	$R^2$	$K_L$ (Lmg <sup>-1</sup> )	$1/n$	$K_F$ (Lmg <sup>-1</sup> )	$R^2$
Ácido Málico	0,203	0,953	0,955	0,10	1,46	47,03	0,997

## CONCLUSÕES

O carvão do bagaço de cana-de-açúcar ativado com cloreto de zinco demonstrou ser um potencial adsorvente para processos diversos, onde se requer a retenção de ácido málico em meio aquoso.

A aplicação do bagaço de cana para o desenvolvimento de biossorventes apresenta-se como uma rota alternativa de reaproveitamento deste resíduo.

Os resultados satisfatórios dos testes permitem que novas rotas de pesquisas sejam desenvolvidas para utilização do bagaço de cana-de-açúcar como meio adsorvente para outros ácidos e/ou compostos orgânicos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amin, N.K. **Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pit.** *Desalination* v. 223, p. 152–161, 2008
2. Ashurst, P.R. **Chemistry and Technology of Soft drinks and Fruit Juices**, Blackwell Publishing, 3o Edition, Hereford, UK, 2016. Doi: 10.1002/9781118634943
3. Brasil, **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2012.
4. Belitz, H.D., Grosch, W. **Química de los alimentos**, Acribia, S.A, 2o Edición, Zaragoza, Espanha, 1997.
5. Bansal, R.C., Goyal, M. **Activated Carbon Adsorption**. CRC Press, Boca Raton, 2005
6. Belisário, M., Borges, P.S., Galazzi, R.M., Del Piero, P.B., Zorzal, P.B., Ribeiro, A.V.F.N., Ribeiro, J. N. **O emprego de resíduos naturais no tratamento de efluentes contaminados com fármacos poluentes.** *InterScience Place*, v.1, n.10. 2010.
7. Freitas, A.E., Mendes, M.F., Coelho, G.L.V. **Thermodynamic study on the adsorption of some organic acids from aqueous solutions by unmodified and modified montmorillonite clays**, *Chemical Engineering Communications*, v. 196, p. 824-840, 2009. <https://doi.org/10.1080/00986440802668232>
8. Garg, U. Kaur, M.P., Sud, O., Garg, V.K. **Removal of hexavalent chromium from aqueous solution by adsorption on treated sugarcane bagasse using response surface methodological approach.** *Desalination*. v. 249, n. 2, p. 475-479. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.10.025>
9. Gupta, V.K., Ali, I., Agarwal. **Removal of lindane and malathion from wastewater using bagasse fly ash - A sugar industry waste.** *Water Research*, v. 36, 2002. Doi: 10.1016/s0043-1354(01)00474-2
10. Gupta, V.K., Ali, I., Saleh, T.A., Nayaka A., Agarwal S. **Advances in water treatment by adsorption technology**, *RSC Adv.*, v.2, p 6380–6388, 2012. Doi: 10.1039/c2ra20340e
11. Marques, D. *Guia da cana-de-açúcar: Avanço científico beneficia o País.* [s.l.]: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnológicos, set, 20 p. 2009.
12. Pereira, V., Câmara, J.S., Cacho, J., Marques, J.C. **HPLC-DAD methodology for the quantification of organic acids, furans and polyphenols by direct injection of wine samples.** *J. Sep. Sci.*, v.33, p 1–12. 2010. Doi: 10.1002/jssc.200900784
13. 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 FeCl3 como agente ativante.** *Quím. Nova*. v.31, n.6, pp.1296-1300, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000600004>
14. Pinheiro, M.H.T., Lemos V.P., Dantas, K., G., F., Valentim, T.L. **Especiação e quimissorção de Pb(II) em rejeito de caulim.** *Quím. Nova*, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 272-278, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000200013>
15. Pradhan, N., Esposito G., Rene, E.R., Lens, P.N.L. **Adsorption Behaviour of Lactic Acid on Granular Activated Carbon and Anionic Resins: Thermodynamics, Isotherms and Kinetic Studies.** *Energies*. v. 10. n. 655, 2017.
16. Raymundo, A.S. Zanarotto R., Belisário, M. Pereira, M.G., Ribeiro, J. N., Ribeiro, A.V.F.N. **Evaluation of sugarcane bagasse as bioadsorbent in the textile wastewater treatment contaminated with carcinogenic congo red dye.** *Braz. arch. biol. technol.*, Curitiba, v. 53, n. 4, p. 931-938, Aug. 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132010000400023>.
17. Ribeiro, A.V.F.N., Belisário, M., Galazzi, R.M., Balthazar, D.C., Pereira, M.G., Ribeiro, J. N. **Evaluation of two bioadsorbents for removing paracetamol from aqueous media.** *Electron. J. Biotechnol.*, Valparaíso, v. 14, n. 6, p. 7, nov. 2011.
18. Ricke S.C., **Perspectives on the Use of Organic Acids and Short Chain Fatty Acids as Antimicrobials.** *Poultry Science*, v, 82, 632–639, 2003. Doi: 10.1093/ps/82.4.632
19. Santos, F., Eichler, P., Machado, G., De Mattia, J., De Souza, G. (2020) **By-products of the sugarcane industry. Sugarcane Biorefinery**, Chapter 2, p. 21-48. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814236-3.00002-0>
20. Sequeira, C.B. **Análise de açúcares e ácidos orgânicos em sumos comerciais: aplicação de HPLC-SEC-UV-IR e língua eletrônica.** Dissertação (Mestre em Qualidade e segurança alimentar) – Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2012.
21. Silva, A., Miranda, E. **Adsorption/Desorption of Organic Acids onto Different Adsorbents for Their Recovery from Fermentation Broths.** *Journal of Chemical & Engineering Data*. vol 58. p. 1454–1463. 2013. <https://doi.org/10.1021/jc3008759>
22. Thuan, T., Thinh, P. V., Quynh, B. T. P. Cong, H., T., Tam, D., T., T., Thuan, V., N., Bach, L. G. **Production of Activated Carbon from Sugarcane Bagasse by Chemical Activation with ZnCl2: Preparation and Characterization Study.** *Research Journal of Chemical Sciences*. v. 6., p. 42-47. 2016.
23. Zheng, L. **Preparation process of malic acid**, CN1560016A, 2006