



EFEITO DOS TRATAMENTOS ÁCIDO E ALCALINO NA CAPACIDADE ADSORTIVA DO BIOCÁRVÃO OBTIDO ATRAVÉS DA PIRÓLISE DE MALTE

AMANDA L. ESCOBAR¹, KÁSSIA G. SANTOS^{1*}, SANDRA C. DANTAS^{1**}

¹Universidade Federal do Triângulo Mineiro

*e-mail: kassia.santos@uftm.edu.br

**e-mail: sandra.dantas@uftm.edu.br

RESUMO – Os resíduos agroindustriais são gerados como subprodutos do processamento industrial e da colheita em todo o mundo. Uma das principais formas de reaproveitamento desses resíduos é através do processo de pirólise, que tem um papel de destaque pois todos os produtos desse processo podem ser utilizados para fins energéticos ou para geração de produtos químicos. Este trabalho teve como objetivo avaliar tratamentos químicos que promovessem melhoria na capacidade adsortiva do biocárvão (*biochar*), subproduto obtido através da pirólise do resíduo de malte. A partir do biocárvão obtido na pirólise, foram realizados diferentes tratamentos ácidos e básicos no material. Após os tratamentos, os materiais foram lavados e secos, e posteriormente, submetidos ao processo de adsorção através da remoção do corante azul de metileno em meio aquoso. Obteve-se resposta positiva, quanto a melhoria na capacidade de remoção, em todos os tratamentos químicos, quando comparados ao biocárvão sem tratamento. Entre os tratamentos mais promissores, tem-se o teste realizado com hidróxido de sódio a 95°C, com uma melhoria na remoção do corante de mais de 13 vezes quando comparado ao teste sem tratamento químico.

INTRODUÇÃO

Como consequência do processo produtivo, as atividades industriais podem promover impactos ambientais a respeito da geração de resíduos sólidos.

Industrialmente, muitos resíduos sólidos podem ser classificados como biomassas e a utilização destes como fonte de energia reduz custos com disposição, além de que a queima para aproveitamento energético ou simples incineração pode reduzir a emissão de poluentes perigosos que geralmente são emitidos por combustíveis fósseis (Floriani, 2007).

O resíduo de malte ou bagaço de malte é o resíduo mais abundante na indústria cervejeira, representando cerca de 85% do total de subprodutos gerados nesta indústria (Salihu; Bala, 2011). Estudos estimam que, para cada 100 L de cerveja são produzidos cerca de 20 kg de bagaço de malte. No Brasil, a produção de resíduos de cervejaria chega a 2 milhões de

toneladas por ano e 30 milhões no mundo todo por ano (Júnior *et al.*, 2020).

O malte é rico em fibras e proteínas, e é considerado um material lignocelulósico contendo aproximadamente 17% de celulose, 28% de hemicelulose e 28% de lignina. De acordo com a variedade e época de colheita da cevada, condições de moagem do malte e tipo de adjuntos (milho, arroz, trigo e sorgo) adicionados ao processo de fermentação, a composição química do bagaço de malte pode variar e, além da composição química, as fibras do bagaço de malte podem ser caracterizadas quanto à suas propriedades funcionais, com o objetivo de direcionar estes materiais para as mais diferentes aplicações na indústria (Batista, 2016).

Os processos de conversão termoquímica da biomassa promovem, de maneira eficiente e promissora, a conversão de resíduos em energia. Os principais processos relatados na literatura são: a combustão, a gaseificação, a liquefação e a pirólise. A pirólise é um processo baseado na decomposição dos componentes da biomassa através de uma fonte de calor. Ela

pode ocorrer na ausência total ou parcial de oxigênio (Pimenta, 2022).

A pirólise se caracteriza por ser um processo em que se origina carvão, bio-óleo e gases não condensáveis, e a depender das condições operacionais, um deles pode ter o rendimento maximizado. A pirólise visa a obtenção de produtos com densidade energética superior e propriedades energéticas melhores do que as da biomassa (Kimura *et al.*, 2009).

Basicamente qualquer fonte de biomassa se presta à produção de biocarvão, porém, devidas às diferenças existentes na composição química (teores de lignina, extrativos, celuloses e hemiceluloses) e na morfologia desses materiais, assim como nas condições da pirólise, o produto obtido apresenta características físicas e químicas particulares, tais como porosidade, superfície específica, pH, capacidade de troca iônica, recalcitrância etc. (Maia, 2011).

Ao longo do processo da pirólise, as estruturas aromáticas vão gradualmente se ordenando com o aumento da temperatura e levando ao aumento da superfície específica do material, devido à perda de extrativos e alcatrão em seus espaços porosos. O aumento da temperatura em geral leva, também, ao aumento da microporosidade. As características físicas do biocarvão dependem não somente da matéria-prima e condições de pirólise, mas, também, do manuseio antes e depois da carbonização (Downie *et al.*, 2009).

O *biochar*, como um carvão vegetal estável com alto teor de carbono, tem demonstrado grande potencial na remediação do solo, na retenção de água e ele pode conter fósforo, um nutriente muito importante para as plantas (Li *et al.*, 2016). Outra maneira de reaproveitar o resíduo sólido é, por exemplo, efetuar a ativação, para utilizá-lo como meio adsorvente.

A ativação, processo subsequente a pirólise, consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, visando o aumento da área superficial. É a etapa fundamental na qual será promovido o aumento da porosidade do carvão. Deseja-se no processo de ativação o controle das características básicas do material (distribuição de poros, área superficial específica, atividade química da superfície, resistência mecânica etc.) de acordo

com a configuração requerida para uma dada aplicação específica. Há dois tipos de processo de ativação utilizados: ativação química ou física (Soares, 2011).

A ativação química consiste na ação de substâncias químicas sobre o precursor, e na ativação física ocorre uma reação de gaseificação do carvão com gases contendo oxigênio, aumentando a porosidade do adsorvente (Dastgheib; Rockstraw, 2002).

O tratamento alcalino é uma forma de realizar a ativação química do carvão. Normalmente realizado em solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH), é um dos tratamentos químicos mais usados para as diversas fibras vegetais. A modificação ocasionada por esse tratamento é o rompimento da ligação de hidrogênio no grupo hidroxila (OH) presente na estrutura da fibra, aumentando assim a rugosidade superficial (Amico *et al.*, 2005).

O carvão ativado é muito utilizado em tratamento de água, tendo um papel fundamental na purificação, para fins de potáveis ou industriais. Ele elimina cor, odor, mau gosto e substâncias orgânicas dissolvidas através do mecanismo de adsorção. O carvão ativado pode atuar como barreira de bactérias e vírus, sendo muito utilizado como pré-tratamento da água utilizada em indústrias. No tratamento do ar, o carvão ativado é muito utilizado para adsorver contaminantes nocivos do ar, removendo produtos indesejáveis por meio de aparatos operacionais, como filtros industriais (Fangmeier; Hoehne, 2012).

Os corantes são um tipo de poluente que deve ser extraído das águas residuais antes de serem lançados no habitat natural devido à toxicidade e efeitos negativos na atividade fotossintética (Çatlıyoglu *et al.*, 2021; Wong *et al.*, 2018). Os efluentes de corantes lançados no meio aquático aumentam a saturação de cor da água receptora e impedem a entrada de luz solar na água. Como resultado, estes prejudicam a vida aquática (Cheng *et al.*, 2022).

O corante mais utilizado na indústria têxtil é o azul de metileno, que é utilizado para tingimento e acabamento de tecidos. De qualquer forma, muita exposição ao azul de metileno é prejudicial às pessoas e à vida oceânica, pois pode causar sensibilidades na pele, problemas no sistema sensorial e,

finalmente, danos cardiovasculares (Parlayıçy e Pehlivan, 2021).

Técnicas de tratamento de águas residuais, por exemplo, filtração por membrana, troca iônica, coagulação, processos avançados de oxidação e adsorção, foram usadas para a remoção de corantes (Ahmadi e Ganjidoust, 2021; Çatlıyoglu *et al.*, 2021). Em meio a essas técnicas, a adsorção possui grande potencial de descontaminação devido à sua afinidade, versatilidade e grande variedade de sorventes disponíveis (Dimpe e Nomngongo, 2017; Mashile *et al.*, 2021). A eficiência da técnica de adsorção depende fortemente das características do analito, tipo de adsorvente e composição da matriz do efluente (Mashile *et al.*, 2021).

O presente estudo busca avaliar a melhoria na capacidade adsorvente do biocarvão obtido a partir da pirólise do resíduo de malte visando o aumento de sua porosidade, através dos tratamentos ácido e alcalino, e com isso obter uma proposta de utilização para o subproduto gerado pela pirólise do malte.

METODOLOGIA

Pirólise

A pirólise do resíduo de malte foi realizada em reator de leito fixo, com adição de 5% de cloreto de magnésio ($MgCl_2$), usando uma taxa de aquecimento de 40 °C/min e um fluxo de N_2 de aproximadamente 500 mL/min. O sistema reacional foi mantido na temperatura de 500°C por 30 min e posteriormente resfriado a 60°C sob fluxo de N_2 . Os produtos líquido e sólido foram quantificados por gravimetria e o produto gasoso foi calculado a partir da diferença de massa, como descrito por Silva *et al.* (2022).

Caracterização do *Biochar* por Análise de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

O biocarvão obtido pelo processo de pirólise foi caracterizado por FTIR para identificar os principais grupos funcionais em sua composição. A análise foi realizada em espectrofotômetro FTIR (Agilent Technologies), no modo ATR. Foi realizado na

faixa de 4000-400 cm^{-1} , com 32 varreduras e resolução de 4 cm^{-1} .

As principais bandas nos espectrogramas de infravermelho foram identificadas e correlacionadas com os respectivos grupos funcionais.

Tratamentos para Ativação Química do *Biochar*

Foram preparados seis ensaios para a realização dos testes, com 0,5 gramas de biocarvão, sendo dois reservados para o tratamento alcalino, dois para o tratamento com ácido fosfórico, e dois para o tratamento com ácido nítrico.

Tratamento alcalino: Adicionou-se à amostra, previamente separada em um béquer encamisado, 25 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) 3M. Os testes ocorreram sob agitação constante nas temperaturas de 60°C e 90°C, durante três e uma hora, respectivamente.

Tratamentos ácidos: Para os tratamentos ácidos foram utilizados, em duas amostras, 25 mL de solução de ácido fosfórico 50% (V/V), e nas outras duas, 25 mL de ácido nítrico 50% (V/V), nas mesmas condições de temperatura e tempo do tratamento alcalino.

Lavagem e secagem das amostras: Após os tratamentos todas as amostras foram filtradas e, em seguida, lavadas com água quente, para a remoção dos reagentes ácidos e básicos até que a faixa de pH estivesse entre 5 e 8, em seguida, foram reservadas na estufa para secagem a 105°C por 24 horas. O procedimento de lavagem e secagem também foi realizado em uma amostra de carvão sem tratamento químico.

Teste de Adsorção

Para o teste de adsorção, foi adicionado 0,3 gramas, de cada amostra, em 50 mL de solução de corante de Azul de Metileno (100 mg/L), previamente preparada em temperatura ambiente. A mistura foi mantida sob agitação constante por 60 minutos, após o decorrer do tempo, efetuou-se a leitura da absorbância no espectrofotômetro, verificando

se a remoção foi eficiente. Previamente, foi realizada a curva de calibração para a solução de azul de metileno com diferentes concentrações das soluções e para cada concentração, leu-se o valor da absorbância no espectrofotômetro com um comprimento de onda de 664 nm, utilizando como branco analítico água destilada.

RESULTADOS

A pirólise do resíduo de malte, nas condições estabelecidas, 500°C e 5% de MgCl₂, apresentou o valor médio de 49,3% de rendimento de líquido, 38,8% de rendimento de biocarvão e 11,9% de rendimento de gás. O trabalho apresentado por Silva e colaboradores (2022) revela a influência da temperatura e concentração de MgCl₂ na quantidade produzida de biocarvão, quanto menor a temperatura e maior a quantidade de MgCl₂ adicionada, maior será o rendimento para a produção de biocarvão. Isso porque o sal catalisa as reações de desidratação e carbonização da celulose e hemicelulose (Khelfa *et al.*, 2013).

A Figura 1 exibe os espectros de FTIR do resíduo de malte puro e do *biochar* produzido na pirólise.

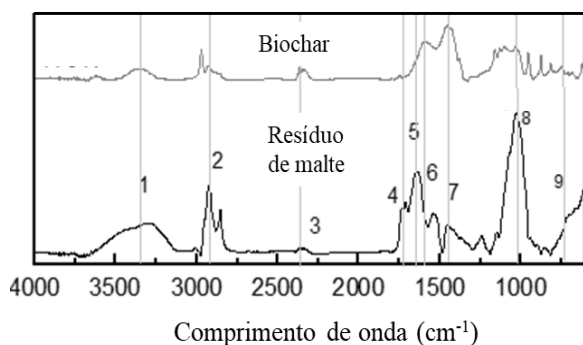


Figura 1- Espectros FTIR de resíduo de malte e *biochar*. Os grupos funcionais foram identificados de acordo como: 1: alongamento O-H; 2: C-H alifático; 3: O=C=O; 4: C=O; 5: C=C; 6: N-ÃO; 7: O-H flexão; 8: C-O; 9: C-O-C; 10: C-H aromático.

De modo geral, pode-se observar, através dos espectros de FTIR, que as intensidades dos picos presentes no resíduo de malte puro foram reduzidas nos espectros do *biochar* como resultado da desvolatilização durante a pirólise.

Contudo, foram encontradas algumas atribuições de pico relevantes.

A banda de 3200-3600 cm⁻¹, atribuída às vibrações de estiramento O-H, é atribuída à celulose e à hemicelulose. Quando comparada ao resíduo de malte, claramente diminui no *biochar* devido às mudanças estruturais ocorridas durante a pirólise. Silva *et al.* (2022), também apresentou a razão entre as áreas integradas da ligação O-H do *biochar* e do resíduo de malte, observando o valor de 73,6% de redução na área de pico do *biochar*. E ainda, houve uma redução na intensidade da ligação O-H com a adição de MgCl₂ à biomassa e com o aumento da temperatura, provavelmente devido a uma aceleração na reação de desidratação, o que resultou em despolimerização e quebra dos componentes da biomassa. Contudo, a quebra e liberação máxima de ligações O-H durante a pirólise ocorreu na temperatura de 500°C sem adição de MgCl₂.

O pico atribuído ao alongamento C-H (2875 - 2960 cm⁻¹) corresponde a grupos funcionais alifáticos, mais presentes na matéria prima do que no carvão. Para este caso, observou-se uma redução média de 62,2% na área de pico do *biochar* em relação ao resíduo de malte. O aumento da temperatura, com ou sem adição de MgCl₂, tende a diminuir os grupos alifáticos no biocarvão e o número máximo de ligações C-H no *biochar* ocorreu na temperatura de 450°C, sem adição do sal (Silva *et al.*, 2022).

As bandas entre 1570 - 1700 cm⁻¹ correspondentes à vibração da ligação C=C dos anéis aromáticos (Espinosa, 2017), relacionadas à estrutura da lignina e compostos aromáticos também foram bastante reduzidas no biocarvão devido à eliminação de H e O de compostos alifáticos durante a pirólise (Dias Júnior, 2017). O *biochar* não catalítico produzido a baixa temperatura (450°C) continha mais ligações C=C, enquanto os experimentos de pirólise realizados a uma temperatura de 550°C e com a maior concentração de MgCl₂ levaram a uma maior desvolatilização dos compostos aromáticos (Silva *et al.*, 2022).

A banda entre 1700 - 1870 cm⁻¹ foi atribuída ao alongamento da ligação C=O dos grupos carbonila. Esta banda foi notavelmente reduzida no *biochar* após a pirólise,

provavelmente devido à clivagem de grupos acetil/acetoxi em hemicelulose (Espinosa, 2017). Segundo Silva *et al.* (2022), essa banda estava ausente no *biochar* obtido em temperaturas elevadas e com alta concentração de sal, indicando a ocorrência de liberação de compostos oxigenados, que podem melhorar seu poder calorífico e possibilitar seu uso como combustível.

O pico em torno de 1020 cm^{-1} pode indicar um grupo éter C–O–C com estiramento simétrico, que também foi bastante reduzido no *biochar*. As outras bandas identificadas foram atribuídas a CO_2 ($2275 - 2400\text{ cm}^{-1}$), N–O ($1500 - 1570\text{ cm}^{-1}$), flexão O–H ($1300 - 1470\text{ cm}^{-1}$) relacionada à deformação angular dos grupos CH_2 adjacentes a carbonos carbonílicos) e alongamento simétrico C–O ($1030-1100\text{ cm}^{-1}$ relacionado a grupos fenólicos e minerais silicatados) (Silva *et al.*, 2022; Balanchandran, 2020).

De acordo com Liu e colaboradores (2015), a reação de desidratação libera H e O em uma razão molar de 2:1. Assim, o principal mecanismo de desvolatilização foi a desidratação, uma vez que as altas temperaturas e o MgCl_2 melhoram as reações de desidratação. Isso leva a um biocarvão com menor aromaticidade e polaridade, em comparação com a biomassa bruta (Almeida *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2015).

Nan *et al.* (2020) notaram uma pequena camada de MgO e $\text{MgO}_3(\text{CO}_3)_2$ cobrindo a superfície do *biochar* durante a pirólise de biomassa usando MgCl_2 , levando a uma liberação muito baixa de todas as moléculas, o que poderia justificar a pequena produção de gases não condensáveis. Pode-se então concluir que a camada de óxido também funciona como uma barreira física que simultaneamente reduz a desvolatilização e retém carbono no *biochar* (Silva *et al.*, 2022).

Obteve-se como características do biocarvão a presença das camadas de MgO e $\text{MgO}_3(\text{CO}_3)_2$ e uma composição, segundo Silva *et al.* (2022), de carbono entre 57,2 a 71,3%, de oxigênio de 13,9 a 25,5%, nitrogênio de 4 a 16% e hidrogênio de 3,1 a 4,3%. O biocarvão da pirólise não catalítica apresentou superfície heterogênea com aspecto rugoso, com superfície pouco porosa em formato de cratera não uniforme, distribuída aleatoriamente (tipo

colmeia). Um comportamento muito semelhante foi verificado no *biochar* produzido com 5% de MgCl_2 , enquanto que para o *biochar* com 10% de MgCl_2 , pode-se notar uma pequena diminuição dos poros (Silva *et al.*, 2022).

O que leva ao foco do presente estudo, que é a análise da melhoria na capacidade adsorptiva do biocarvão, aplicando os tratamentos químicos acompanhados de temperatura.

Após aplicação dos tratamentos, lavagem e secagem, as amostras foram submetidas ao teste de adsorção com corante azul de metileno e os resultados estão apresentados na Figura 2.

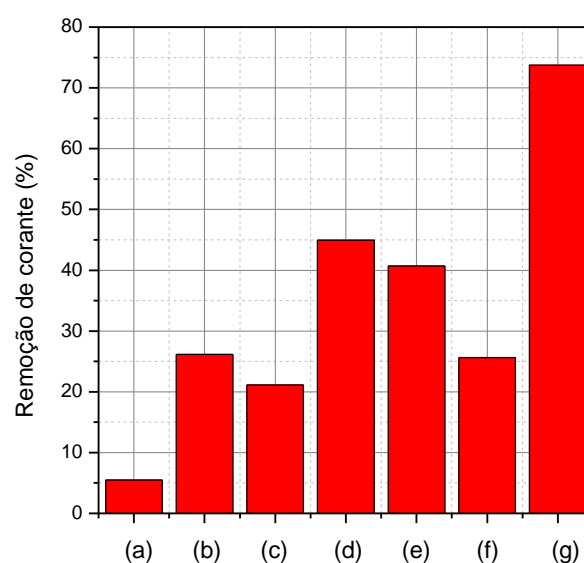


Figura 2: Porcentagem de remoção de azul de metileno durante os testes de adsorção para as amostras de carvão (a) sem tratamento químico, (b) tratado com HNO_3 a 60°C , (c) tratado com H_3PO_4 a 60°C , (d) tratado com NaOH a 60°C , (e) tratado com HNO_3 a 90°C , (f) tratado com H_3PO_4 a 90°C e (g) tratado com NaOH a 90°C .

Observa-se uma baixa porcentagem de remoção de azul de metileno para a amostra de carvão que não passou por nenhum tratamento químico, de aproximadamente 5,5%. Através deste resultado, pode-se notar a necessidade de realização de um tratamento químico ao *biochar* obtido no processo de pirólise, já que a capacidade adsorptiva desse material é muito baixa para a remoção de azul de metileno. Essa baixa adsorção pode estar associada à formação das camadas de MgO e $\text{MgO}_3(\text{CO}_3)_2$ no biocarvão durante o processo de pirólise,

impedindo que a área superficial do *biochar* entre em contato com a solução de corante de forma eficiente. Sendo assim, em seguida foram realizados os testes com os biocarvões tratados quimicamente.

Ao analisar os resultados b, c e d da Figura 2, observa-se que, na temperatura de 60°C, o *biochar* que apresentou melhor desempenho na capacidade de remoção foi o tratado com solução de hidróxido de sódio, enquanto o tratado com ácido fosfórico apresentou menor efeito na capacidade adsorptiva. Embora as capacidades adsorptivas dos materiais tratados com ácidos a 60°C tenham sido baixas, se comparado ao tratamento com NaOH na mesma temperatura, nota-se um aumento de mais de 280% na capacidade adsorptiva se comparado ao teste com biocarvão sem nenhum tratamento químico.

Observa-se que, para a temperatura de 90°C, resultados e, f e g da Figura 2, os biocarvões tratados com ácidos apresentaram menor desempenho na capacidade de remoção se comparado ao biocarvão tratado em meio básico. A sequência na capacidade adsorptiva, para os testes a 90°C, foi a mesma observada nos tratamentos a 60°C: $H_3PO_4 < HNO_3 < NaOH$. Nota-se também que entre todos os tratamentos analisados, o *biochar* com melhor capacidade adsorptiva foi o tratado com solução de hidróxido de sódio 3 M. Essa característica pode ser associada ao fato de que a ativação com NaOH resulta em grupos funcionais básicos na superfície do *biochar*, o que permitiu que o azul de metileno, um corante catiônico, interagisse com o material através de sítios ativos carregados negativamente (Primaz *et al.*, 2021).

Através da Figura 2, observa-se também a influência da elevação da temperatura na melhoria da capacidade de adsorção, tendo um aumento tanto para tratamento com NaOH, quanto para o tratamento com HNO_3 e H_3PO_4 .

Quando comparados ao carvão sem tratamento químico, todos os testes apresentaram melhoria na capacidade de remoção, sendo a máxima para o tratamento com NaOH a 90°C, superior a 13 vezes o valor do teste sem tratamento químico, e a mínima para o tratamento com H_3PO_4 a 60°C, que foi

aproximadamente 4 vezes superior ao teste sem tratamento químico.

CONCLUSÃO

Entre os três tipos de tratamento químico para ativação do *biochar*, o com o hidróxido de sódio 3M apresentou melhor desempenho que os demais nas duas temperaturas estudadas, sendo o de 90°C, o mais promissor na remoção do azul de metileno do meio aquoso. Considerando que o tempo de exposição das amostras a temperatura de 90°C foi 1/3 menor que o das amostras expostas a temperatura de 60°C, é possível intuir que um tempo de exposição maior em uma temperatura mais elevada tende a aumentar ainda mais o desempenho do biocarvão no processo de adsorção.

Foi possível constatar que embora os tratamentos ácidos sejam pouco efetivos quanto a melhoria na capacidade de remoção, todos os tratamentos promoveram aumento na quantidade removida de corante da solução em comparação ao carvão sem tratamento.

REFERÊNCIAS

- AHMADI, S., GANJIDOUST, H., 2021. Using banana peel waste to synthesize BPAC/ZnO nanocomposite for photocatalytic degradation of Acid Blue 25: influential parameters, mineralization, biodegradability studies. *J. Environ. Chem. Eng.* 9 (5), 106010.
- AMICO, S. C.; SYDENSTRICKER, T. H. D. & Silva, P. S. C. P. - *Met. Mater. Process.* 17, p.233 (2005).
- ANDRADE, L. F.; BATISTA, F. R. X., LIRA, T. S., BARROZO, M. A. S., VIEIRA, L. G. M., *Renewable Energy* 2018, 119, 731-740.
- BATISTA, E. A. (2016). Estudo do Processo de Secagem do Resíduo de Malte Gerado na produção de cerveja. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB.

- BASU, P. Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory, Elsevier, 2010, pp 65-96.
- ÇATLIOĞLU, F., AKAY, S., TURUNÇ, E., GÖZMEN, B., ANASTOPOULOS, I., KAYAN, B., KALDERIS, D., et al. 2021. Preparation and application of Fe-modified banana peel in the adsorption of methylene blue: process optimization using response surface methodology. *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* 16 (April).
- CHENG, S., XING, BAOLIN, SHI, C., NIE, Y., XIA, H., 2021a. Efficient and selective removal of Pb(II) from aqueous solution by modification crofton weed: experiment and density functional theory calculation. *J. Clean. Prod.* 280, 124407.
- DASTGHEIB, S. A.; ROCKSTRAW, D. A.; A model for the adsorption of single metal ion solutes in aqueous solution onto activated carbon produced from pecan shells. *Carbon* 40, p. 1843–1851, 2002.
- DIAS JÚNIOR, A. F., OLIVEIRA, R. N., DEGLISE, X., SOUZA, N. D, BRITO, O. J; *Rev. Mater.* 2019, 24, DOI 10.1590/s1517-707620190003.0700.
- DIMPE, K.M., NOMNGONGO, P.N., 2017. A review on the efficacy of the application of myriad carbonaceous materials for the removal of toxic trace elements in the environment. *Trends Environ. Anal. hem.* 16 (October), 24–31
- DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical properties of biochar. in Lehmann J, Joseph S (Eds) *Biochar for Environment Management*, Earthscan Publishers Ltd, London, Capítulo 2, 2009.
- ESPINOSA, E., SANCHEZ, R., GONZALEZ, Z., DOMINGUES-ROBLES, J. FERRARI, B., RODRIGUEZ, A. *Carbohydr Polim.* 2017, 175,27-37.
- FANGMEIER, M; HOEHNE, L. Avaliação de Carvão Ativado e de Sílica como Adsorventes para Amostras com Corantes e com Sódio. *Revista Destaques Acadêmicos*, Vol. 4, N. 4, 2012 - Cetec/Univates
- FLORIANI, S. L. (2007). Potencial de Resíduos Sólidos Industriais Como Fonte de Energia e Avaliação das Emissões Gasosas em Combustor em Escala Piloto. Universidade Federal de Santa Catarina. 2p. (dissertação de mestrado).
- JÚNIOR, L. F. C.; VALENTE, G. D. F. S.; SILVA, M. D. M. C. Modelling of the extraction of phenolic compounds from beer malt bagasse using artificial neural network. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 74010-74023, 2020.
- KHELFA, A.; BENSACKHRIA, A.; WEBER, J.V. . *J. Anal. Aplic. Pirólise* 2013 , 101 , 111-121.
- KIMURA, L. M. Uma contribuição à pirólise de biomassa: avaliação de alguns resíduos da agroindústria como fonte de energia alternativa, 2009, 105 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) -Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009, <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15138>
- LI, J.; DAI, J.; LIU, G.; ZHANG, H.; GAO, Z.; FU, J.; HE, Y.; HUANG, Y. Biochar from microwave pyrolysis of biomass: A review. *Biomass and Bioenergy*, v. 94, p. 228- 244, 2016.
- LIU, D., YU, Y., LONG, Y., WU, H. *Proc. Combust. Int.* 2015, 35, 2381-2388.
- MAIA, C. M. B. F. Produção de Biocarvão a partir de diferentes fontes de biomassa. IX EBSH 2011, Aracaju-Se.
- MASHILE, G.P., MPUPA, A., NOMNGONGO, P.N., 2021. Magnetic mesoporous carbon/ β -cyclodextrin-

chitosan nanocomposite for extraction and preconcentration of multiclass emerging contaminant residues in environmental samples. *Nanomaterials* 11 (2), 1–16.

NAN, H.; ZHAO, L.; YANG, F.; LIU, Y.; XIAO, Z.; CAO, H.; Qiu, J *Cleaner Prod.* 2020.

PARLAYICI, S., PEHLIVAN, E., 2021. Biosorption of methylene blue and malachite green on biodegradable magnetic *Cortaderia selloana* flower spikes: modeling and equilibrium study. *Int. J. Phytoremediation* 23 (1), 26–40.

PIMENTA, F. S. Pirólise de Bagaço de Malte Assistida por Microondas. Universidade Federal de Uberlândia.p.9. (Dissertação de mestrado), 2022.

PRIMAZ, C. T.; RIBES-GREUS, A.; JACQUES, R.A.; Valorization of cotton residues for production of bio-oil na engineered biochar. Elsevier, 28 march 2021.

SALIHU, A., Bala, M. (2011). *Afr. J. Biotechnol*, 10, 324-331.

SOARES, A. G; Adsorção de Gases em Carvão Ativado de Celulignina, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, p. 15-25, Campinas, 2001.

SILVA, L. D.; LIRA, T. S.; XAVIER, T. P.; BARROZO, M. A. S; DANTAS, S. C.; SILVÉRIO, B. C.; SANTOS, K. G.; Effect of Temperature na $MgCl_2$ Concentration on the Catalytic Pyrolysis of Malt Waste Using Response Surface Methodology, 2022.

WONG, S., NGADI, N., INUWA, I.M., HASSAN, O., 2018. Recent advances in applications of activated carbon from biowaste for wastewater treatment: a short review. *J. Clean. Prod.* 175, 361–375.