



REAPROVEITAMENTO DE LODO BIOLÓGICO INDUSTRIAL PARA SÍNTESE DE MATERIAL ADSORVENTE E TRATAMENTO TERCIÁRIO DE ESGOTO DOMÉSTICO

KEIVISON A. MONTEIRO^{1*}, ANN H. MOUNTEER², RENATA P. L. MOREIRA³, ALINE A. dos S. SILVA⁴, JOSÉ P. R. FERREIRA⁵

¹Universidade Federal de Viçosa, Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

²Universidade Federal de Viçosa, Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

³Universidade Federal de Viçosa, Professora do Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais.

⁴Universidade Federal de Viçosa, Mestrado no Programa de Pós-Graduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais.

⁵Universidade Federal de Viçosa, Graduação em Engenharia Química.

*e-mail: Keivison.monteiro@ufv.br

RESUMO - O gerenciamento de lodo gerado no processo de tratamento de efluentes da produção de cosméticos (lodo cosmético) é desafiador devido as suas características, sendo necessário buscar alternativas para sua destinação final. A síntese de carvão ativado (CA) tem se mostrado promissora na reutilização do lodo cosmético, pois este resíduo apresenta alto teor de carbono que favorece a conversão em material carbonáceo rico em carbono e heteroátomos, com porosidade desenvolvida e grupamentos funcionais de superfície, lhe conferindo capacidade adsorviva. Este trabalho teve como objetivo produzir CA de lodo cosmético e aplicação na remoção de DQO e COT de esgoto doméstico. O CA foi sintetizado com ativação química com H_3PO_4 e tratamento térmico por pirólise em 450 °C. O CA apresentou carga superficial ácida ($pH_{PCZ} = 2,3$) e a adição de grupo fosfato foi verificado por FTIR tanto no CA como no bio-óleo produzido na pirólise. Uma dose de 2,5mg de CA por mL do esgoto resultou na maior remoção, com $q = 15,5$ mg/g e 4,5 mg/g para DQO e COT, respectivamente. O aumento da massa acima dessa dose não favoreceu o processo adsorvivo. A síntese de CA de lodo biológico e aplicação para remoção de DQO e COT se demonstrou é uma alternativa promissora para o reaproveitamento do resíduo industrial.

INTRODUÇÃO

A indústria de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (HPPC), tem um importante papel na economia e postos de trabalho no Brasil, sendo que no ano de 2020 este setor teve um lucro de US\$ de 23.738 bilhões e foi responsável por 5,5 milhões postos de trabalho. Entretanto, a indústria de HPPC tem por característica fabril o alto consumo de água para seus processos produtivos, o que, consequentemente, eleva a geração de efluentes, que contêm surfactantes, emulsionantes e conservantes, entre outros

compostos, que juntos podem resultar na toxicidade do efluente (ABIHPEC, 2019).

Devido à necessidade de tratamento dos efluentes cosméticos, uma considerável quantidade de lodo biológico é gerada, levando à necessidade de uma destinação que fuja das disposições convencionais como os aterros sanitários. Diante disso, a síntese de carvão ativado a partir de lodo biológico da indústria cosmética emerge como alternativa viável de destinação deste resíduo, além de agregar valor e vasta aplicabilidade (RIBEIRO et al., 2021).

Carvão ativado (CA) é um material com alto teor de carbono que possui forma cristalina constituída de heteroátomos altamente adsorvente e que apresenta grande superfície

específica, elevada porosidade, alto volume de poros e propriedades de superfície ajustáveis na morfologia e grupos funcionais (YU et al., 2020). Estes materiais carbonáceos são obtidos pela conversão termoquímica de materiais orgânicos ricos em carbono em altas temperaturas e na ausência de oxigênio, lhe conferindo características químicas, físicas e texturais que possibilitam a aplicação em diversos segmentos.

Dadas essas propriedades, esse material adsorvente é utilizado na remoção de compostos orgânicos e inorgânicos em meio aquosos, purificação de gases e suporte catalítico, sendo um material de grande interesse para o setor sanitário e as indústrias química, alimentícia, farmacêutica e petrolífera (FUKUMOTO e KURODA, 2019; BRITO et al., 2020; ROVANI et al., 2014; BEYAN et al. 2021).

No segmento sanitário os carvões ativados são principalmente aplicados no tratamento terciário para a remoção de compostos recalcitrantes ao tratamento biológico, como conservantes, metais, corantes, antibióticos, desreguladores endócrinos, entre outros (MANDAL et al., 2021; DOUDA et al., 2021; ELIAS et al., 2021). Esta aplicação remove os compostos persistentes além de remover, consideravelmente, a DQO remanescente e mitigar o seu efeito tóxico no ambiente aquático no qual o efluente será despejado (GUL et al., 2021).

Diante disso, esse trabalho tem por escopo a utilização de lodo ativado da indústria cosmética de produtos capilares para a síntese de material adsorvente e sua aplicação como tratamento terciário para remoção de DQO de esgoto doméstico secundário.

METODOLOGIA

Obtenção e preparação do material precursor

O lodo biológico foi coletado em uma indústria cosmética de produtos capilares situada no estado de Minas Gerais. O material fornecido pela indústria era previamente seco, porém o lodo foi levado a estufa (Lucadema) a 105 °C por 24h para remoção de umidade residual, posteriormente foi triturado em

moinho de facas e peneirado (VP-01, Bertel) seguindo metodologia da NBR 7217 (ABNT, 1987), para obter um material com granulometria menor ou igual a 40 mesh.

Síntese do carvão ativado

O carvão ativado foi obtido por ativação química com ácido fosfórico (H_3PO_4) (85% PA). O lodo biológico foi impregnado com H_3PO_4 na razão mássica de 1:1 (m:m) e seco em estufa por 24h. Posteriormente o material foi pirolísado em reator de aço inoxidável (60 cm de altura e 6,5 cm de diâmetro interno). O reator foi introduzido dentro de um forno elétrico (LF2312, Jung, Brasil), com temperatura controlada ajustada a partir de um termopar acoplado ao reator (Figura 1).

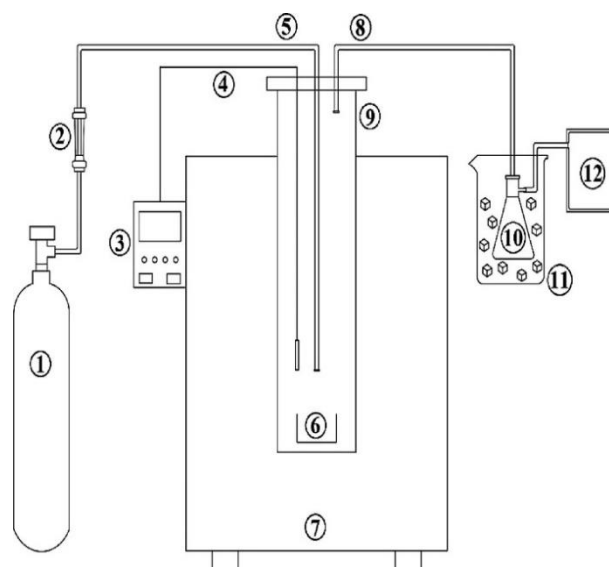


Figura 1: Esquema do reator utilizado nos experimentos.

(1) cilindro de nitrogênio; (2) rotâmetro ; (3) controlador de temperatura; (4) termopar (5) entrada de nitrogênio; (6) amostra; (7) forno elétrico ; (8) saída de gás condensável ; (9) reator; (10) recipiente para coleta de condensáveis; (11) capacitor; (12) bolsa coletora de gás.

Fonte: Rocha et al. (2020)

A pirólise foi realizada em temperatura de 450 °C, taxa de aquecimento de 20 °C.min⁻¹, vazão de nitrogênio (N²) de 10 L.h⁻¹ e tempo de permanência de 60 min. Os voláteis resultantes da pirólise foram condensados em banho de gelo e coletados para posterior quantificação de massa. Os gases gerados no processo não foram

coletados. Após resfriamento do reator, o carvão ativado resultante foi coletado e sua massa determinada separadamente. A massa do gás foi determinada por diferença (Rocha et al., 2020).

A fração condensada foi separada em duas fases (bio-óleo e fase aquosa) seguindo metodologia proposta por Borboloi et al. (2016). O bio-óleo foi dissolvido em éter dietílico, seguido de adição de sulfato de sódio anidro para secagem. A suspensão foi filtrada, o solvente evaporado em 30 °C e o bio-óleo quantificado (Rocha et al., 2020).

O CA obtido foi lavado seguindo adaptação da metodologia proposta por Shamsuddin; Yusof; Sulaiman (2016) para neutralização e desobstrução dos poros em duas etapas. Na primeira, o CA ficou em contato sob agitação com 500 ml de solução de NaOH (1,0 M) em temperatura +/- 70°C. Na segunda, o material foi lavado com água destilada a +/- 70°C com auxílio de centrifuga, até atingir pH 7,0.

Posteriormente, o material foi levado à estufa a 15 °C por 24h e finalmente peneirado em peneira de 40 *mesh*. O material passante pela peneira foi devidamente guardado em recipiente hermeticamente fechado até a realização das caracterizações e teste adsorptivo.

O material precursor e os produtos obtidos na etapa de pirólise foram codificados conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Codificação das amostras.

Código	Material
LE	Lodo Biológico
L450	Carvão ativado 450 °C
BO450	Bio-óleo 450 °C
BG450	Bio-gás 450 °C

Fonte: Autor, (2022).

O rendimento do processo de síntese do L450 e BO450, foi calculado através da equação 1:

$$R (\%) = \left(\frac{m_P}{m_L} \right) \times 100 \quad (1)$$

em que: R é o rendimento (%), m_P é a massa do material produzido (g) e m_L é a massa lodo biológico (g).

Caracterizações do carvão ativado e bio-óleo

As alterações dos grupos funcionais dos materiais estudados foram analisadas por FTIR, em instrumento Bruker VERTEX 70, usando método de refletância total atenuada (ATR) na faixa de 350-4000 cm^{-1} .

O ponto de carga zero da superfície do CA (pH_{PCZ}) foi determinado seguindo metodologia de Regalbuto e Robles (2004), em que 50 mg de CA foram colocados em contato com 50 mL de soluções de cloreto de sódio 0,10 mol.L^{-1} em diferentes pH (1 a 11) e deixado em agitação a temperatura ambiente por 24 h. O pH das soluções foi ajustado com solução de hidróxido de sódio (NaOH) ou ácido clorídrico (HCL) 0,50 mol.L^{-1} . O pH foi lido após as 24h. O pH_{PCZ} correspondeu à faixa onde o pH final se manteve constante.

Obtenção e caracterização do esgoto doméstico secundário e de lavagem do L450

O esgoto doméstico secundário foi coletado na saída de um reator UASB operado no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa (Minas Geras, Brasil). O efluente de lavagem do L450 foi obtido após as etapas de lavagem descrita anteriormente.

Os efluentes foram caracterizados pela quantificação de DQO, COT, pH e condutividade elétrica, de acordo com os procedimentos dispostos no *Standard Methods* (Tabela 2) (APHA, 2017).

Tabela 2: Métodos analíticos utilizados na caracterização de efluentes.

Parâmetro	Método*	Equipamento
DQO	5220 D	Termoreator MA4004, Marconi Espectrofotômetro DR3800, Hach
pH	4500-H ⁺ B	pHmetro PA-210A, Mylabor Analisador TOC-V-CPN/CPH, Shimadzu
COT	5310 B	Conduvímeter R-TEC-4P-MP, Tecnal
Cond. Elétrica	2510 B	

*SMEWW (APHA, 2017)

Efeito da massa no processo de remoção de DQO de esgoto doméstico secundário

Para avaliar o efeito da massa no processo de adsorção de DQO, foram adicionados 25, 50, 75 e 100 mg de carvão ativado em Erlenmeyers contendo 20 mL de esgoto doméstico secundário. As amostras ficaram em agitação constante (+/- 80 rpm) e temperatura ambiente por 24h, e em seguida foram filtradas em conjunto de filtração com membrana de 0,45 µm. A DQO e o COT do esgoto foram quantificados após atingir o equilíbrio pelos métodos citados na Tabela 2. A capacidade adsorptiva do carvão ativado foi determinado pela equação 2:

$$q = \left(\frac{VC_{in} - VC}{Mads} \right) \quad (2)$$

em que: q é a capacidade adsorptiva, após atingir o equilíbrio (mg.g⁻¹), V é o volume de solução (mL), C_{in} concentração inicial da solução (mg.L⁻¹), C é a concentração da solução (mg.L⁻¹) no equilíbrio e Mads é a massa do adsorvente (g).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Balanco de massa do processo de pirólise

A Tabela 3 apresenta os rendimentos do processo de pirólise e da lavagem do CA. O rendimento sólido da pirólise foi bem elevado em relação as outras frações. Isso pode ser associado às poucas reações secundárias de craqueamento da fração orgânica do lodo biológico que produziram as frações líquida e gasosa durante o tratamento térmica. Outros fatores que devem ser considerados no alto rendimento do processo são a natureza da matéria-prima, taxa de aquecimento, fluxo de gás de arraste e o processo de ativação do lodo com o ácido fosfórico, que no presente trabalho acarretou em degradação branda das estruturas do lodo antes mesmo do processo pirolítico, fazendo o rendimento da pirólise ser elevado.

Wang et al. (2021) e Yu (2020), em estudos similares de pirólise de lodo, obtiveram rendimentos de sólidos similares a este trabalho, de 49 e 52 %, respectivamente. Os autores associam o maior rendimento de sólido frente as outras frações à degradação de

proteínas, sacarídeos e compostos alifáticos na temperatura de 450 °C, uma vez que em temperaturas mais elevadas, essa degradação é mais severa, ocorrendo a conversão em produtos líquidos e/ou gasosos.

Tabela 3: Rendimento do CA após pirólise e lavagem, do bio-óleo e do bio-gás

	Amostra	Rendimento
CA	Pirólise	56
	Lavagem	48
	Bio-Óleo	7,7
	Bio-Gás	36,3

Fonte: Autor, (2022)

O processo de lavagem após pirólise do CA visa, principalmente, a remoção de alcatrão e residuais de agente químico de ativação para desobstrução da porosidade interna do adsorvente, além de neutralização da superfície do CA. Na Tabela 3, verifica-se uma redução de rendimento do processo após a lavagem, associada à redução de conteúdo de inorgânicos, devido a sua dissolução, resultando na desobstrução dos poros do CA e aumento de sua área superficial de adsorção (WONG et al., 2018).

Caracterização do carvão ativado

O material adsorvente apresentou um pH_{PCZ} ácido (pH_{PCZ} = 2,3, Figura 2). Este comportamento era esperado devido à natureza do agente ativante utilizado, adicionando assim grupamentos funcionais ácidos à superfície do material. Em valores abaixo do pH_{PCZ} a superfície do CA será carregada positivamente com íons H⁺, favorecendo a adsorção de ânions e acima desse pH a superfície será carregada negativamente com íons OH⁻ favorecendo a adsorção de cátions (BRITO et al., 2018).

Os espectros FTIR dos materiais são apresentados na Figura 3. A faixa entre 3650 cm⁻¹ e 3200 cm⁻¹ estar relacionada a vibração de -OH, fenol, álcool, ácido carboxílico, peróxido e água, uma banda alargada é possível observar nessa faixa no LE, porém ocorre sua remoção no L450 e BO450, isso é associado ao tratamento ácido ocorrido no processo de

ativação química. No espectro do LE é possível observar os picos minerais em 1082 cm^{-1} e 750 cm^{-1} , enquanto no L450 esses picos foram removidos ou apresentaram intensidade menor devido ao tratamento térmico aplicado e conversão em outros compostos.

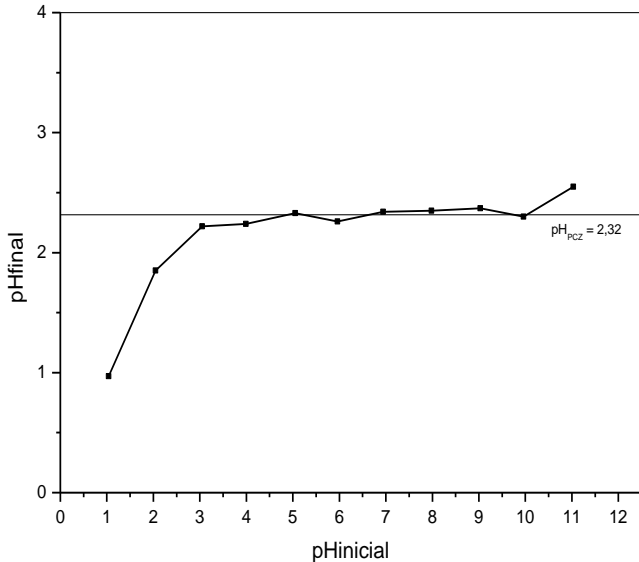


Figura 2: Valores de pH inicial e final no experimento de medida de pH_{PCZ} .
Fonte: Autor, (2022).

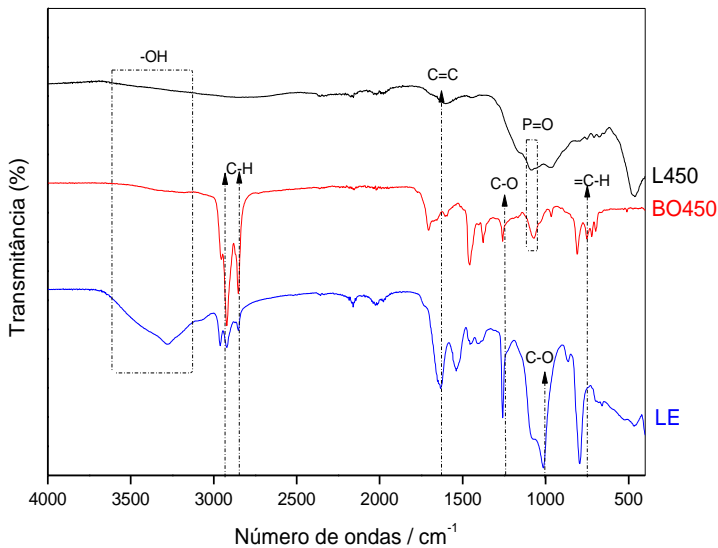


Figura 3: Espectrograma do infravermelho com transformada de Fourier do LE, L450 e BO450.
Fonte: Autor, (2022).

Deve-se notar a vibração C=C aromática entre 1650 e 1595 cm^{-1} no LE, que praticamente desapareceu no L450 (Fig. 3). Isso pode ser associado à adição do ativador e à pirólise em

alta temperatura, que fez com que o C=C aromático fosse destruído, resultando assim em uma maior porosidade do L450. A vibração localizada em 1230 cm^{-1} , observado no espectro do L450 e BO450, provavelmente foi causada pelo grupo fosfato do agente ativador, pois revela vibrações de estiramento de P=O (GUO e ROCKSTRAW, 2007).

O pico de vibração em 743 cm^{-1} notável no espectro do BO450 é característico de ligações =C-H fora do plano, comprovando a presença de grupamentos aromáticos no bio-óleo, já a banda 1300 cm^{-1} caracteriza a ligação C-O, indicando a presença de fenóis, álcoois e ésteres (ONAY, 2007).

Características do efluente secundário e de lavagem do CA

A caracterização do esgoto doméstico secundário e efluente de lavagem do L450 é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Características do esgoto doméstico secundário (EDS) e de lavagem do L450 (EL450)

Parâmetros	EDS	EL450
DQO (mg/L)	82 ± 2	31 ± 5
COT (mg/L)	32 ± 5	-
pH	7,5	12,8
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	608	90,6

Fonte: Autor, (2022)

Os valores de DQO, tanto para o EDS quanto o EL450 estão em conformidade com a legislação de Minas Gerais para descarte de efluentes em corpos d'água, pois ambos apresentam DQO abaixo de 180 mg/L (COPAM, CERH, 2008). A DQO do EL450 pode ser associada a resíduos do processo da pirólise, como cinzas, alcatrão e agente ativador, já a do EDS pode ser associada a compostos recalcitrantes ao tratamento anaeróbio que não foram totalmente mineralizados, como fármacos, hormônios, agroquímicos, entre outros, que são potencialmente tóxicos quando descartados nos corpos d'água (RODRIGUES et al., 2010).

O COT do EDS maior que 30 mg/L evidência a persistências de micropoluentes e

seus derivados (fármacos, substâncias húmicas, entre outras) mesmo após o tratamento no reator UASB, indicando assim a necessidade de complementação de tratamento para remoção dessa fração (DANTAS et al., 2017).

O pH do EDS está em conformidade com o que é descrito na literatura para efluentes de reatores UASB como os quantificados por Silva et al (2021) e Rodrigues et al. (2010), obtendo valores de pH de 8,0 e 7,1, respectivamente. Esses valores próximos da neutralidade são esperados para sistemas de tratamento anaeróbio, como é o caso do reator UASB, porque, nestes sistemas, ocorre a predominância do sistema carbônico, responsável pela capacidade de tamponamento do meio (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). Já o pH do EL450 indicou uma elevada alcalinidade, associada ao processo de lavagem do adsorvente com NaOH, pois o residual do hidróxido foi carregado para o efluente.

Ambos os efluentes apresentam condutividade abaixo do limite permitido pela companhia ambiental do estado de São Paulo (CETESB, 2016), que é $\leq 2600 \mu\text{S/cm}$, valor este que evita a salinização do corpo receptor, porém a mesma companhia indica que valores $> 100 \mu\text{S/cm}$ impactam negativamente o ambiente aquático (SANTOS et al., 2019).

Um parâmetro que deve ser levado em consideração nos processos de síntese de carvões ativados de biomassas é a geração de efluente no processo de lavagem. No presente trabalho, a relação efluente de lavagem por grama de carvão (50 mL/g) foi considerada pequena, pela vasta aplicabilidade do material adsorvente e pelos ganhos ambientais que sua síntese e aplicação favorece.

Influência da massa na adsorção

A melhor massa de CA para a remoção tanto de DQO, quanto de COT foi de 50 mg ($q_{\text{DQO}} = 12,1 \text{ mg/g}$; $q_{\text{COT}} = 4,5 \text{ mg/g}$) (Figura 4), o que correspondeu a uma dose de 2,5 g de CA por litro do efluente. Além disso, foi possível verificar uma redução da capacidade adsorptiva com o aumento da massa, que pode ser associada à baixa agitação do sistema que prejudicou a colisão entre adsorvato e adsorvente e, conseqüentemente, reduziu os valores de q . Resultado similar foi obtido por

Silva et al. (2019), associando o fenômeno de redução da capacidade adsorptiva à formação de montículos no seio da mistura adsorvato/adsorvente, que impediram o acesso do adsorbato à massa de carvão retida no interior dos aglomerados maiores do material.

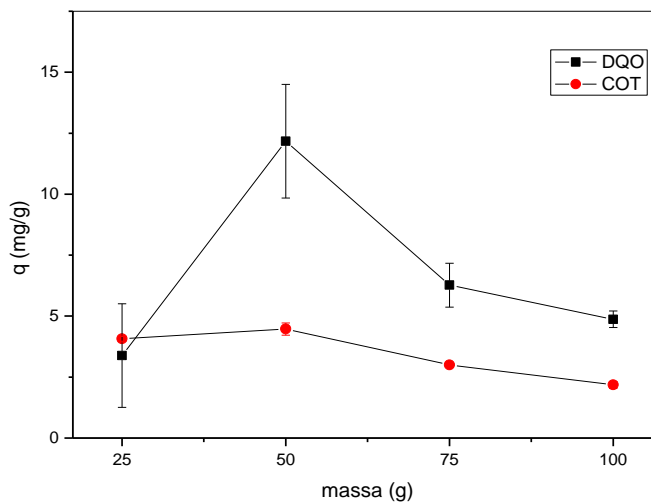


Figura 4: Influência da massa de CA na remoção de DQO e COT.

Fonte: Autor, (2022).

Ainda pode-se inferir que a aplicação do carvão ativado obtido de lodo industrial tem potencial para a remoção de DQO e COT no tratamento terciário, contribuindo assim para remoção de substâncias húmicas, fármacos, hormônios, entre outros, e seus subprodutos, que muitas das vezes são mais tóxicos que os compostos originais, que não foram removidos no reator UASB, tornando-se necessário o tratamento terciário.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o lodo biológico industrial cosmético se apresenta como uma alternativa promissora para a síntese de adsorvente. O processo de ativação e pirólise foi eficiente levou a inclusão de grupos funcionais como o fosfato, com rendimento geral de 48%. A massa do CA influenciou a capacidade adsorptiva e a dose de 2,5g de CA por litro de efluente resultou nas maiores remoções de DQO e COT do esgoto doméstico secundário.

NOMENCLATURA

COT = carbono orgânico total
 DQO = demanda química de oxigênio
 EDS = efluente doméstico secundário
 EL450 = efluente de lavagem do carvão L450
 FTIR = espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier
 pH = potencial hidrogeniônico
 pH_{PCZ} = pH de ponto de carga zero
 UASB = reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo
 CA = carvão ativado

REFERÊNCIAS

- ABIHPEC - Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. Anuário 2019. Disponível em: <<https://abihpec.org.br/anuario-2019/mobile/index.html#p=1>>. Acesso em 28 de julho de 2022.
- APHA. (2017), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987) NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro 1987.
- BEYAN, S. M.; PRABHU, S. V.; SISSAY, T. T.; GETAHUN, A. A. (2021), Sugarcane bagasse based activated carbon preparation and its adsorption efficacy on removal of BOD and COD from textile effluents: RSM based modeling, optimization and kinetic aspects. *Bioresource Technology Reports*, v. 14, p. 100664.
- BRITO, M. J. P.; SANTOS, M. P. F.; JÚNIOR, E. C. de S.; SANTOS, L. S.; BONOMO, R. C. F.; FONTAN, R. da C. I.; VELOSO, C. M. (2020), Development of activated carbon from pupunha palm heart sheaths: Effect of synthesis conditions and its application in lipase immobilization. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 8, n. 5.
- BRITO, M. J. P.; VELOSO, C. M.; SANTOS, L. S.; BONOMO, R. C. F.; FONTAN, R. da C. I. (2018), Adsorption of the textile dye Dianix® royal blue CC onto carbons obtained from yellow mombin fruit stones and activated with KOH and H₃PO₄: kinetics, adsorption equilibrium and thermodynamic studies. *Powder Technology*, v. 339, p.334-343.
- CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice E Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. (2016), São Paulo: CETESB.
- COPAM (Conselho Estadual de Política Ambiental), CERH (Conselho de Recursos Hídricos de Minas Gerais) (2008), Resolução Normativa Conjunta COPAM/CERH N° 1. Belo Horizonte.
- DANTAS, A. D. B.; BERNADO, L. D.; VOLTAN, P. E. N.; KOYAMA, M. H. (2017), Eficiência de remoção de carbono orgânico total em eta de ciclo completo no tratamento de água superficial contaminada estudo de caso. *Anais Congresso ABES 2017*.
- DOUDA, M. M. A.; AKOWANOU, A. V. O.; MAHUNON, S. E. R.; ADJINDA, C. K.; AINA, M. P.; DROGUI, P. (2021), Optimal removal of diclofenac and amoxicillin by activated carbon prepared from coconut shell through response surface methodology. *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 38, p. 78-89.
- ELIAS, K. D.; EJIDIKE, I. P.; MTUNZI, F. M.; PAKADE, V. E. (2021), Endocrine Disruptors-(estrone and β -estradiol) removal from water by Nutshell activated carbon: Kinetic, Isotherms and Thermodynamic studies. *Chemical Thermodynamics and Thermal Analysis*, v. 3-4, p. 100013.
- FUKUMOTO, A. A. F.; KURODA, E. K. (2019), Seleção de carões ativados para adsorção de microcistinas. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 2, p. 295-304.
- GUL, E.; ALRAWASHDER, K. A. B.; MASEK, O.; SJREIBERG, O.; CORONA, A.; ZAMPILI, M.; WANG, L.; SAMARAS, P.; YANG, Q.; ZHOU, H.; BASTOCCI, P.; FANTOZZI, F.

- (2021), Production and use of biochar from lignin and lignin-rich residues (such as digestate and olive stones) for wastewater treatment. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 158, p. 105263.
- GUO, Y.; ROCKSTRAW, D. A. (2007), Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 100, n. 1-3, p. 12-19.
- MANDAL, S.; CALDERON, J. MARPU, S. B.; OMARY, M. A.; SHI, S. Q. (2021), Mesoporous activated carbon as a green adsorbent for the removal of heavy metals and Congo red: Characterization, adsorption kinetics, and isotherm studies. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 243, p. 103869.
- ONAY, O. (2007), Fast and catalytic pyrolysis of pistacia khinjuk seed in a well-swept fixed bed reactor. *Fuel*, v. 86, p. 1452-1460.
- REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. (2004), The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation. University of Illionis: Chicago.
- RIBEIRO, M. R.; GUIMARÃES, M. de Y.; SILVA, I. F.; ALMEIDA, C. A.; SILVA, M. S. V.; NASCIMENTO, M. A.; da SILVA, U. P.; VAREJÃO, E. V.; RENATO, N. dos S.; TEIXEIRA, A. P. de C.; LOPES, R. P. (2021), Synthesis of value-added materials from the sewage sludge of cosmetics industry effluent treatment plant. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, n. 4, p. 1-12.
- ROCHA, D. N.; BARBOSA, E. G.; RENATO, N. dos S.; VAREJÃO, E. V. V.; da SILVA, U. P.; de ARAUJO, M. E. V.; MATINS, M. A. (2020), Improving biofuel production by thermochemical conversion of defatted *Scenedesmus obliquus* biomass. *Journal of Cleaner Production*, v. 275, p. 1-9.
- RODRIGUES, L. S.; da SILVA, J.; ZOCCATO, MANON. C. O.; PAPA, D. N.; SPERLING, M. V.; OLIVEIRA, P. R. (2010), Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 94-100.
- ROVANI, S.; CENSI, M. T.; PEDROTTI, S. L.; LIMA, E. C.; CATALUÑA, R.; FERNANDES, A. N. (2014), Development of a new adsorbent from agro-industrial waste and its potential use in endocrine disruptor compound removal. *Journal of Hazardous Materials*, v. 271, p. 311-320.
- SANTOS, B. F. S.; PASSOS, E. S.; FACCIOLI, G. G.; ARGUELHO, M. L. P. M.; OLIVEIRA, R. A.; CARVALHO, R. S. Análise da condutividade elétrica em efluentes domésticos no tratamento terciário composto por filtro com biocarvão. (2019), *Anais XII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe*.
- SHAMSUDDIN, M. S.; YUSOFF, N. R. N.; SULAIMAN, M. A. (2016), Synthesis and Characterization of Activated Carbon Produced from Kenaf Core Fiber Using H₃PO₄ Activation. *Procedia Chemistry*, v. 19, p. 558-565.
- SILVA, I. C.; MEDEIROS, D. L.; LUCENA, D. V.; ROCHA, C. O.; GADELHA, A. J. F. (2019), Caracterização, tratamento e utilização do carvão ativado para adequações de parâmetros físico-químicos de efluentes oleosos através da adsorção em banho finito. *Principia*, n. 45, p. 171-179.
- SILVA, P. R.; MOUNTEER, A. H.; BENJAMIN, L. dosa.; de ALMEIDA, E. R.; VITORINO, F. B.; ARCANJO, G. S.; PETESON, V. R. dos S. (2021), Evaluation of toxicity and estrogenicity in UASB - Treated municipal sewage. *Chemosphere*, V. 268, P. 1-9.
- VAN HAANDEL, A.C; LETTINGA. G. (1994), Tratamento anaeróbico de esgoto. Um manual para regiões de clima quente. Universidade Federal da Paraíba - CAMPINA GRANDE.
- WANG, S.; WEN, Y.; HAMMASTRON, H.; JONSSON, P. G.; YANG, W. (2021), Pyrolysis behaviour, kinetics and thermodynamic data of hydrothermal carbonization-Treated pulp and paper mill sludge. *Renewable Energy*, v. 177, p. 1282-1292.

- WONG, S.; YAC'OB, N.A.N.; NORZITA NGADI, H. O.; Inuwa, I.M.; (2018), From pollutant to solution of wastewater pollution: Synthesis of activated carbon from textile sludge for dye adsorption. *Chinese J. Chem. Eng.*, v. 26, p.870-878.
- YU, H. L.; FENG, M. C.; YA, P. S.; HONG, Y. Z.; KAI, J. W. (2020), Activated carbon preparation from pyrolysis char of sewage sludge and its adsorption performance for organic compounds in sewage. *Fuel*, v. 266, p. 1- 11.