

I-1057 – REMOÇÃO DE ARSÊNIO DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO UTILIZANDO-SE UM BIOADSORVENTE PREPARADO A PARTIR DE BAGAÇO DE CANA

Luisa Cardoso Maia⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá. Mestra e Doutora em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto.

Jorge Eduardo Garcia Ferreira Junior⁽²⁾

Engenheiro de Produção pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro e técnico em Meio Ambiente pelo Instituto Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro. Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto.

Liliane Catone Soares⁽³⁾

Bacharel em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Química Inorgânica e Doutora em Química Analítica pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professora do Departamento de Química da Universidade Federal de Ouro Preto, atuando na área de Química de Solos e Adsorção com ênfase no uso de biomassa para remoção de contaminantes de águas e efluentes.

Eduardo Ribeiro de Azevedo⁽⁴⁾

Físico pela Universidade Federal de Goiás, mestrado e doutorado em Física pelo Instituto de Física de São Carlos - Universidade de São Paulo. Professor do Instituto de Física de São Carlos - Universidade de São Paulo - IFSC/USP. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Ressonância Magnética Nuclear.

Leandro Vinícius Alves Gurgel⁽⁵⁾

Bacharel em Química Industrial pela Universidade Federal de Ouro Preto. Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto. Doutor em Ciências (Físico-Química) pela Universidade de São Paulo. Professor associado II da Universidade Federal de Ouro Preto, trabalhando nas áreas de adsorção de metais tóxicos e corantes industriais e produção de bioetanol a partir de biorresíduos.

Endereço⁽¹⁾: Grupo de Físico-Química Orgânica (GFQO), Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas – Universidade Federal de Ouro Preto – Campus Morro do Cruzeiro, s/nº – Bauxita – Ouro Preto – MG – CEP: 35400-000 – Brasil – e-mail: luisa.maia@aluno.ufop.edu.br

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo a síntese e aplicação de um novo bioadsorvente (BTEA) preparado a partir da reação de quaternização do bagaço de cana-de-açúcar (BC) com epicloridrina (EPI) e trietilamina (TEA) para produção de um trocador de ânions efetivo para remoção de arsênio de águas para consumo humano. O BTEA foi caracterizado por espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) de ¹³C no estado sólido, comprovando a efetividade da reação de modificação química pela inserção de grupos amônio quaternário na superfície do BC. Com isso, pôde-se produzir um eficiente adsorvente de ânions com carga formal positiva que independe do pH do meio aquoso, favorecendo a interação eletrostática do material com espécies aniônicas como o arsênio. A cinética de adsorção indicou que o tempo de equilíbrio foi rapidamente alcançado (20 min), sendo a taxa de adsorção controlada pela resistência à transferência de massa no filme (número de Biot < 30). O estudo de adsorção multicomponente mostrou que o BTEA apresentou maior afinidade por íons SO₄²⁻. No entanto, a aplicação do BTEA em sistema relevante (amostra de água contaminada por arsênio) mostrou que ele foi capaz de remover o arsênio contido na água mesmo na presença de íons competidores. Os estudos de regeneração e reutilização do BTEA comprovaram que ele pode ser eficientemente regenerado (eficiências de dessorção acima de 80%) e reutilizado por diversos ciclos de operação, reduzindo os custos da operação de adsorção e favorecendo o escalonamento da tecnologia proposta.

PALAVRAS-CHAVE: adsorção; biomassa lignocelulósica; dessorção; ânions coexistentes; tratamento de água.

INTRODUÇÃO

A contaminação de águas naturais por arsênio representa um grave problema ambiental e de saúde pública em nível mundial, tendo em vista os efeitos deletérios decorrentes da exposição ao arsênio, bem como a ausência de técnicas eficazes e de baixo custo que sejam capazes de promover sua remoção. Segundo Asere *et al.* (2019), mais de 70 países apresentam arsênio em suas águas subterrâneas, afetando cerca de 200 milhões de pessoas no mundo.

O arsênio pode ser encontrado em diversos compostos de interesse ambiental, resultado da liberação natural do mesmo através do processo de intemperismo oxidativo, da dissolução de rochas/minerais e de aplicações na indústria (BUNDSCHUH *et al.*, 2021). A exposição a arsênio é responsável por causar efeitos adversos sobre o sistema neurológico, renal, cardiovascular, respiratório, gastrointestinal, dérmico e hematológico; além de diabetes, efeitos mutagênicos e carcinogênicos (DESESSO *et al.*, 1998).

Em virtude desta problemática e principalmente devido à toxicidade deste elemento, as legislações ambientais tornaram-se mais rigorosas em relação ao valor máximo admissível deste ametal em água para consumo humano ($10 \mu\text{g L}^{-1}$), justificando-se a relevância do desenvolvimento de tecnologias que sejam eficazes e de baixo custo para proporcionar à população mais vulnerável acesso à água em quantidade e qualidade necessárias para exercer plenamente seus direitos (WHO, 2017).

Nesse sentido, a adsorção destaca-se como uma tecnologia de mais baixo custo e de fácil implantação e operação, capaz de produzir um efluente tratado de elevada qualidade. No entanto, a utilização de adsorventes convencionais para remoção de oxiânions tem se mostrado ineficiente em decorrência de sua não seletividade (PINCUS *et al.*, 2021). A remoção de arsênio tem como grande desafio a seletividade do adsorvente na presença de ânions comumente presentes na água, como sulfato e fosfato (YAMANI *et al.*, 2016).

Diversos estudos vêm sendo realizados ao longo dos últimos anos visando o desenvolvimento de novos adsorventes, destacando-se o bagaço de cana-de-açúcar (BC) como um promissor material suporte a ser utilizado como bioadsorvente para remoção de elementos tóxicos (XU *et al.*, 2016). Resíduos agroindustriais como o BC apresentam grande potencial de aplicação como matéria-prima para produção de novos adsorventes por meio da inserção de grupos funcionais seletivos nas funções hidroxila presentes na celulose, produzindo-se materiais com novas propriedades (KARNITZ *et al.*, 2010; SUN, 2010).

A produção de um novo adsorvente de ânions efetivo a partir de um resíduo agroindustrial brasileiro de baixo custo e renovável representa uma alternativa tecnológica promissora para adequação da potabilidade da água em regiões onde há problemas de contaminação por arsênio, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias nacionais ainda não existentes no mercado. Isso é realizado por meio da introdução de grupos funcionais catiônicos na superfície da biomassa lignocelulósica, sendo a aminação (por aminas primárias, secundárias e/ou terciárias) o método de cationização mais comumente empregado para preparação de bioadsorventes de ânions (KERÄNEN, 2017).

As estratégias de síntese utilizadas para aaminação de materiais lignocelulósicos incluem a utilização de agentes de ligação como a epicloridrina (EPI), capazes de aumentar a reatividade da biomassa e permitir a introdução de grupos amina no suporte sólido. A introdução da EPI na estrutura do BC ocorre por meio da reação com os grupos hidroxila da celulose, com consequente abertura do anel de epóxido, de modo que uma reação posterior com uma amina (primária, secundária ou terciária) ocorre por meio do grupo clorometileno, produzindo-se uma função amina (para aminas primárias ou secundárias) ou amônio quaternário (para aminas terciárias) (ORLANDO *et al.*, 2002b). Nesse sentido, a modificação química do BC com aminas terciárias, como a trietilamina (TEA), resulta na produção de um eficiente trocador de ânions contendo grupos amônio quaternário que são carregados positivamente independentemente do pH da água, possibilitando a remoção de arsênio em uma ampla faixa de pH.

OBJETIVOS

O presente trabalho visa desenvolver e aplicar um novo bioadsorvente (BTEA) preparado a partir da modificação química do BC com EPI e TEA para produção de uma tecnologia seletiva de remoção de arsênio que apresente estabilidade química e elevada capacidade de adsorção por meio da introdução de grupos funcionais adequados em sua estrutura. Além disso, também almeja-se avaliar o desempenho desse novo

bioadsorvente na remoção de arsênio de águas para consumo humano contaminadas, assim como avaliar a capacidade de regeneração e reutilização do adsorvente por diversos ciclos de operação.

MATERIAIS E MÉTODOS

PRIMEIRA ETAPA: SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DO BIOADSORVENTE BTEA

O bioadsorvente BTEA foi preparado a partir da modificação química do BC (11,0 g) com EPI (140 mL) e TEA (240 mL) em presença de *N,N*-dimetilformamida – DMF (220 mL), produzindo grupos amônio quaternário na superfície da biomassa. A reação foi realizada em duas etapas (100 °C), realizando-se primeiramente a reação de eterificação do BC com a EPI (30 min), a qual foi sucedida pela etapa de aminação com a TEA (120 min). Ao final da reação, a suspensão foi separada por filtração e o BTEA retido foi lavado com DMF, álcool etílico (EtOH, 99,8%), água destilada, solução de HCl 0,1 mol L⁻¹, água destilada, EtOH 99,8% e éter dietílico (Et₂O). Em seguida, o BTEA foi seco em estufa sob pressão reduzida a 35 °C e caracterizado por meio de análises de ganho de massa e ressonância magnética nuclear (RMN) de ¹³C no estado sólido.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Na Figura 1 é apresentado um esquema da rota de síntese utilizada para a produção do adsorvente BTEA, alcançando-se um valor de ganho de massa de 27 ± 2%, atribuído à introdução de grupos amônio quaternário na superfície do BC.

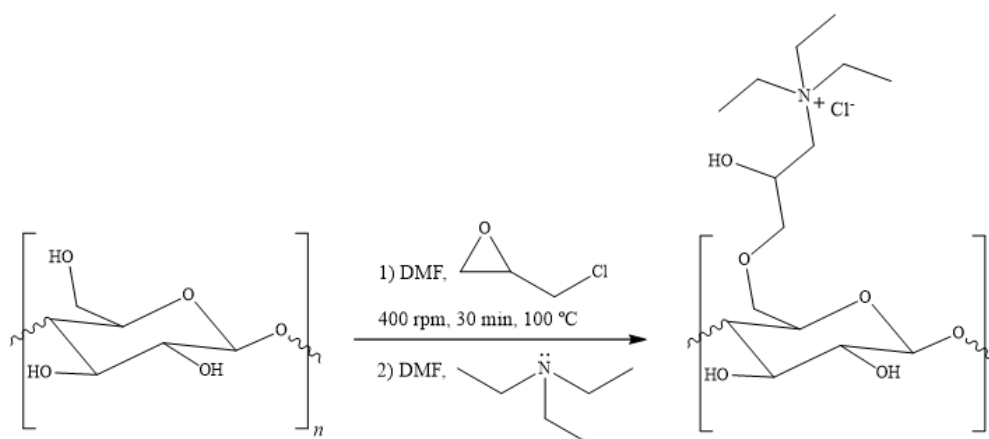


Figura 1: Representação esquemática da rota de síntese do bioadsorvente BTEA.

O espectro de RMN de ¹³C no estado sólido obtido para o BTEA comprovou a efetividade da reação de modificação química do BC pelo surgimento de um sinal bem isolado em 8 ppm, atribuído aos átomos de carbono metílicos (CH₃) dos grupos etila ligados a grupos amônio quaternário (R–N⁺(CH₂CH₃)₃) introduzidos na estrutura do BTEA (Região 1) (Figura 2).

Além disso, observou-se o desaparecimento dos sinais atribuídos às hemiceluloses, assinalados como Região 2 no espectro obtido pela subtração entre os espectros do BC e BTEA, o que indica a solubilização das hemiceluloses durante a reação de modificação química do BC e a possível geração de subprodutos de valor de mercado. A modificação química das hemiceluloses antes de sua solubilização resultaria em subprodutos de elevado valor de mercado – as hemiceluloses catiônicas e surfactante gemini – subprodutos de elevado valor agregado que poderiam contribuir para a melhoria da viabilidade econômica do processo de produção do BTEA.

Portanto, a caracterização do BTEA demonstrou a eficácia da reação de modificação química do BC, indicando o sucesso das reações de eterificação e aminação do BC. A modificação química bem-sucedida

permite a aplicação do BTEA para adsorção de espécies aniônicas de As(V) em toda faixa de pH na qual as espécies de As(V) são ionizáveis (pH acima de 2,0).

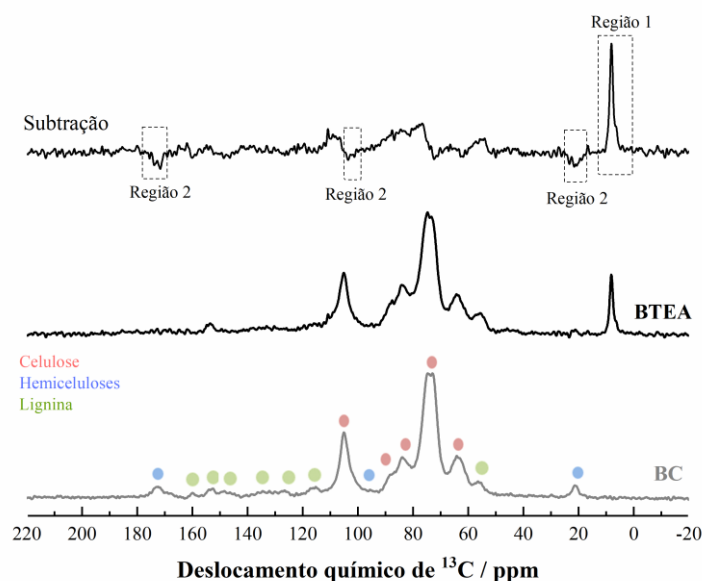


Figura 2: Espectros de RMN de ^{13}C no estado sólido para o BC e para o BTEA e respectivo espectro gerado pela subtração entre o espectro do BC e do BTEA.

SEGUNDA ETAPA: ESTUDOS DE ADSORÇÃO DE ARSÊNIO EM BATELADA

Os experimentos de adsorção foram realizados em frascos Erlenmeyer contendo 100,0 mL de solução aquosa de arsênio pré-termostatizadas a $25,0 \pm 0,1$ °C (sem o uso de solução tampão), nos quais foram adicionados $20,0 \pm 0,1$ mg de BTEA (dose aplicada de $0,2 \text{ g}_{\text{BTEA}} \text{ L}^{-1}$). As soluções foram agitadas a 200 rpm em incubadora agitadora orbital durante o tempo necessário para se alcançar o equilíbrio químico. Em seguida, foram filtradas utilizando-se papel filtro quantitativo faixa preta para a quantificação de arsênio por ICP-OES (Espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente). Os estudos de adsorção em batelada foram realizados em sistemas aquosos mono- e multicomponente, como mostrado na Figura 3.



Figura 3: Representação esquemática dos experimentos de adsorção em batelada.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

CINÉTICA DE ADSORÇÃO

No estudo de cinética de adsorção, determinou-se a taxa com a qual ocorre a adsorção de As(V) em BTEA, possibilitando a determinação do tempo necessário para saturação dos sítios ativos de superfície do

adsorvente. A curva de cinética de adsorção (Figura 4) indicou que o equilíbrio foi alcançado rapidamente, com tempo de equilíbrio de apenas 20 min. Portanto, o curto tempo de equilíbrio e o elevado valor de $q_{e,exp}$ ($0,48 \pm 0,02 \text{ mmol g}^{-1}$) corroboram para a aplicação do BTEA em sistemas de tratamento de água.

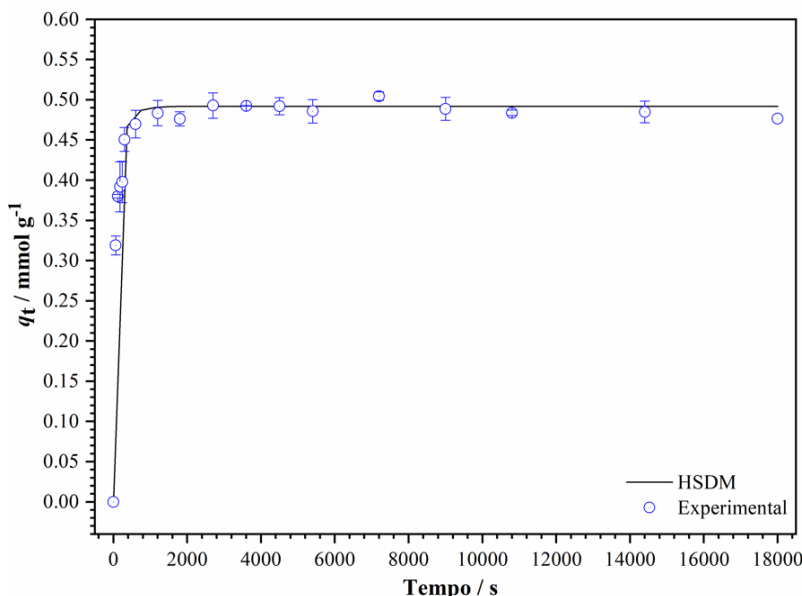


Figura 4: Cinética de adsorção de As(V) para o modelo HSDM.

O modelo de difusão de superfície homogênea (do inglês, *Homogeneous Surface Diffusion Model* – HSDM) foi empregado para auxiliar na investigação dos mecanismos envolvidos na adsorção de As(V) em BTEA. O elevado valor de R^2 e o baixo valor de $RMSE$ (do inglês, *Root Mean Square Error*) indicaram que os dados experimentais foram bem ajustados pelo modelo HSDM (Tabela 1). Com isso, pôde-se inferir a respeito dos mecanismos de adsorção por meio da determinação dos coeficientes de transferência de massa (k_F e D_s) e do número de Biot (Bi).

Os valores dos coeficientes k_F e D_s indicaram a predominância da etapa de transferência de massa externa sobre a difusão intrapartícula ($k_F > D_s$) (Tabela 1). O baixo valor de Bi (2,3) sugere que a taxa de adsorção foi controlada pela difusão no filme (externa) ($Bi < 30$), assim como esperado, considerando-se a rapidez em que o equilíbrio de adsorção é alcançado.

Tabela 1: Parâmetros de ajuste do modelo HSDM aos dados experimentais de cinética de adsorção.

Resultados experimentais	
t_e / min	20,0
$q_{e,exp} / \text{mmol g}^{-1}$	$0,48 \pm 0,02$
Modelo HSDM	
$k_F / \text{m s}^{-1}$	$1,31 \times 10^{-4}$
$D_s / \text{m}^2 \text{s}^{-1}$	$1,83 \times 10^{-12}$
Bi	2,3
R^2	0,957
$RMSE$	0,04

ADSORÇÃO COMPETITIVA

O BTEA, quando em presença de outros ânions comuns como sulfato e fosfato, apresentou uma redução expressiva da capacidade de adsorção de As(V) em decorrência do efeito antagônico causado pela presença de íons SO_4^{2-} em solução (Figura 5). No sistema monocomponente, a capacidade de adsorção de As(V) ($0,460 \pm 0,004 \text{ mmol g}^{-1}$) foi significativamente maior do que a mesma no sistema multicomponente ($0,08 \pm 0,01 \text{ mmol g}^{-1}$).

g^{-1}). No entanto, ressalta-se que mesmo com a supressão causada pela presença de competidores, o BTEA foi capaz de remover as espécies de As(V) em um curto intervalo de tempo (30 min).

No sistema multicomponente, os resultados mostraram que o BTEA apresentou maior afinidade por íons sulfato do que pelas espécies de As(V). Em pH 7,0, predominam-se as espécies SO_4^{2-} (100%), H_2AsO_4^- (~60%) e H_2PO_4^- (~60%), que possuem raios iônicos de 218, 227 e 213 pm, respectivamente (SIMOES *et al.*, 2017). A maior razão carga/raio do íon sulfato em comparação com os íons arsenato e fosfato pode favorecer a atração eletrostática entre sítios da superfície do BTEA, carregados positivamente, e os íons sulfato, suprimindo a adsorção de arsenato por meio de um efeito antagônico.

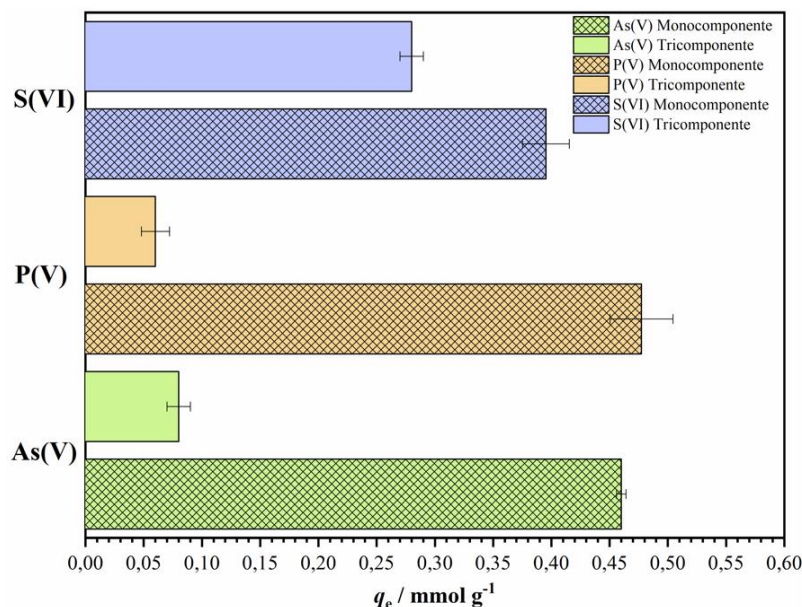


Figura 5: Capacidade de adsorção de ânions (arsenato, fosfato e sulfato) em sistemas mono- e multicomponente em BTEA (pH 7,00, $25,0 \pm 0,1$ °C, 200 rpm, 30 min, $0,2 \text{ g}_{\text{BTEA}} \text{ L}^{-1}$).

TERCEIRA ETAPA: APLICAÇÃO DO BIOADSORVENTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA POR ARSÊNIO

O BTEA foi aplicado no tratamento de água subterrânea contaminada por arsênio para avaliação do seu desempenho. Foram coletadas amostras de água subterrânea contaminadas por arsênio provenientes de uma fonte de abastecimento alternativa, no município de Ouro Preto-MG (bica localizada no bairro Piedade, coordenada $20^\circ 23' 07'' \text{ S}$, $43^\circ 29' 40'' \text{ O}$). Em seguida, realizou-se um novo estudo de cinética de adsorção (Figura 6).

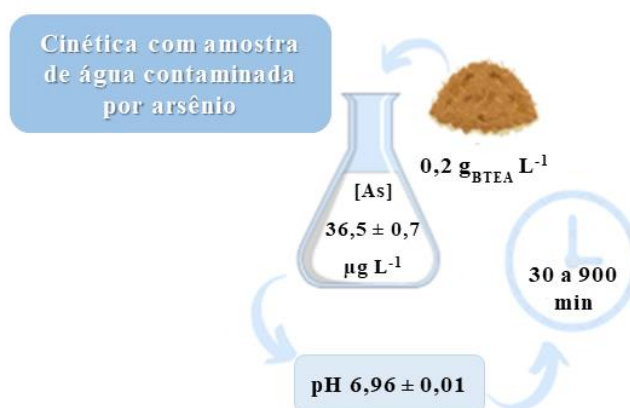


Figura 6: Representação esquemática dos experimentos de adsorção com amostra de água contaminada.

RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

A caracterização química das amostras de água subterrânea contaminada por arsênio é apresentada na Tabela 2. O ponto de coleta apresentou concentração de arsênio ($0,030 \pm 0,005 \text{ mg L}^{-1}$) três vezes superior ao VMP ($0,010 \text{ mg L}^{-1}$) estabelecido pela Portaria GM/MS Nº 888 de 2021. Além disso, é importante ressaltar os valores das concentrações de enxofre ($0,332 \pm 0,004 \text{ mg L}^{-1}$) e fósforo ($0,111 \pm 0,002 \text{ mg L}^{-1}$) na amostra de água subterrânea contaminada, que podem estar presentes na forma dos ânions sulfato e fosfato, fortes competidores pelos sítios de adsorção do BTEA, podendo interferir na operação de remoção de arsênio de águas para consumo humano.

Tabela 2: Concentração de elementos presentes nas amostras de água contaminada por arsênio.

Elementos	Concentração / mg L^{-1}
As	$0,030 \pm 0,005$
Ca	$0,90 \pm 0,02$
Cd	$0,32 \pm 0,05$
K	$0,58 \pm 0,01$
Mg	$0,263 \pm 0,009$
Mn	39 ± 1
Na	$1,47 \pm 0,05$
P	$0,111 \pm 0,002$
S	$0,332 \pm 0,004$
Zn	$3,0 \pm 0,4$

No entanto, mesmo na presença de fortes competidores, o BTEA foi capaz de remover praticamente todo arsênio presente na amostra de água contaminada (Tabela 3). O BTEA apresentou elevadas eficiências de remoção de arsênio (acima de 90%) mesmo na presença de sulfato e fosfato, cujas concentrações nas amostras de água subterrânea contaminadas eram cerca de 11 e quatro vezes superiores à de arsênio, respectivamente.

Tabela 3: Cinética de adsorção de arsênio em BTEA utilizando-se amostra de água contaminada (pH $6,95 \pm 0,01$, $0,2 \text{ g}_{\text{BTEA}} \text{ L}^{-1}$, 200 rpm a $25,0 \pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Tempo / min	$C_i / \mu\text{g L}^{-1}$	$C_t / \mu\text{g L}^{-1}$	$q_t / \mu\text{g g}^{-1}$	$E / \%$
30	$36,5 \pm 0,7$	2 ± 0	181 ± 0	95 ± 0
60		2 ± 1	181 ± 7	95 ± 4
120		2 ± 0	182 ± 0	95 ± 0
240		$1,5 \pm 0,7$	185 ± 4	96 ± 2
360		2 ± 0	182 ± 0	95 ± 0
480		2 ± 0	180 ± 0	95 ± 0
600		4 ± 2	173 ± 11	90 ± 6
720		$2,5 \pm 0,7$	181 ± 4	93 ± 2
900		$3,5 \pm 0,7$	172 ± 4	90 ± 2

Portanto, o BTEA foi capaz de atender ao VMP de arsênio em águas para consumo humano ($10 \mu\text{g L}^{-1}$) estabelecido pela Portaria GM/MS Nº 888 de 2021. O tempo de equilíbrio foi rapidamente alcançado (30 min), o que comprova a efetividade do BTEA para a remoção de arsênio de água para consumo contaminada.

QUARTA ETAPA: REGENERAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DO BIOADSORVENTE

A capacidade de regeneração e possível reutilização do BTEA foi avaliada através de estudos de dessorção e re-adsorção. Para isso, foi realizado o carregamento do adsorvente com As(V) conforme procedimento descrito na segunda etapa deste trabalho, adotando-se os dados de pH ótimo ($7,00 \pm 0,01$), de cinética (45 min) e de equilíbrio (20 mg L^{-1}) de adsorção. Após o carregamento, foram realizados cinco ciclos sucessivos de operação (adsorção/dessorção/re-adsorção) para avaliar a capacidade de reutilização do BTEA. As operações de regeneração foram realizadas utilizando-se solução de HNO_3 $0,08 \text{ mol L}^{-1}$ e um tempo de dessorção de 5 min.

RESULTADOS DA QUARTA ETAPA

Os valores de eficiência de dessorção (E_{des}) e de re-adsorção ($E_{\text{re-ads}}$) obtidos para cada ciclo de operação comprovaram que o BTEA pode ser eficientemente regenerado e reutilizado por diversos ciclos de operação, (Figura 7). Foram alcançados valores de E_{des} e $E_{\text{re-ads}}$ acima de 80% em todos os ciclos de operação, sugerindo que as interações entre as espécies de As(V) e a superfície do bioadsorvente são governadas por forças de caráter eletrostático.

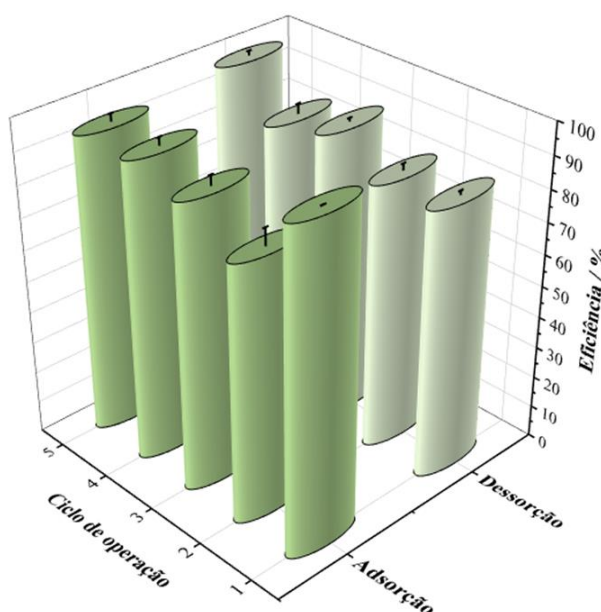


Figura 7: Eficiências de dessorção e de re-adsorção para cada ciclo de operação do BTEA.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A introdução da EPI e TEA nas fibras do BC foi bem-sucedida, como comprovado pela técnica de RMN de ^{13}C no estado sólido, possibilitando a obtenção do BTEA, um bioadsorvente de ânions com carga pH independente.

O BTEA apresentou um curto tempo de equilíbrio, uma característica promissora que favorece sua aplicação em sistemas de tratamento de água. Além disso, verificou-se que a taxa de adsorção de As(V) em BTEA foi controlada pelo mecanismo de transferência de massa no filme.

No sistema multicomponente, o BTEA apresentou maior afinidade por sulfato e, portanto, a capacidade de adsorção de As(V) foi diminuída pela competição dos sítios de adsorção.

A efetividade do BTEA para a remoção de arsênio pôde ser comprovada por meio de estudos de adsorção realizados em ambiente relevante (amostras de água contaminada por arsênio), cujos resultados demonstraram o potencial de aplicação do BTEA para adequação ao padrão de potabilidade em regiões onde há ocorrência natural ou antrópica de arsênio em corpos d'água.

Os estudos de regeneração mostraram que o BTEA pode ser eficientemente regenerado e reutilizado por diversos ciclos de operação, o que torna sua aplicação em sistemas de tratamento mais atrativa.

Além de se tratar de uma tecnologia de base renovável, o BTEA é uma tecnologia nacional, cujo potencial pode ser explorado em prol de melhorias na qualidade de vida de populações vulneráveis que se utilizam de fontes de abastecimento alternativas e inseguras de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASERE, T. G.; STEVENS, C. V.; DU LAING, G. Use of (modified) natural adsorbents for arsenic remediation: A review. **Sci. Total Environ.**, v. 676, p. 706-720, 2019.
2. BUNDSCHUH, J.; SCHNEIDER, J.; ALAM, M. A.; NIAZI, N. K.; HERATH, I.; PARVEZ, F.; TOMASZEWSK, B.; GUILHERME, L. R. G.; MAITY, P.; LÓPEZ, D. L.; CIRELLI, A. F.; PÉREZ-CARRERA, A.; MORALES-SIMFORS, N.; ALARCÓN-HERRERA, M. T.; BAISCH, P.; MOHAN, D.; MUKHERJEE, A. Seven potential sources of arsenic pollution in Latin America and their environmental and health impacts. **Sci. Total Environ.**, v. 780, p. 146274, 2021.
3. DESESSO, J.; JACOBSON, C.; SCIALLI, A.; FARR, C.; HOLSON, J. An assessment of the developmental toxicity of inorganic arsenic. **Reprod. Toxicol.**, v. 12, n. 4, p. 385-433, 1998.
4. HOWARD, A. G.; HUNT, L. E. Coupled photooxidation-hydride AAS detector for the HPLC of arsenic compounds. **Anal. Chem.**, v. 65, n. 21, p. 2995-2998, 1993.
5. KERÄNEN, A. **Water treatment by quaternized lignocellulose**. 2017. (Dissertation), University of Oulu, Finland.
6. ORLANDO, U. S.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Preparation of agricultural residue anion exchangers and its nitrate maximum adsorption capacity. **Chemosphere**, v. 48, n. 10, p. 1041-1046, 2002.
7. SUN, R. **Cereal straw as a resource for sustainable biomaterials and biofuels: chemistry, extractives, lignins, hemicelluloses and cellulose**. Elsevier, 2010.
8. SIMOES, M. C.; HUGHES, K. J.; INGHAM, D. B.; MA, L.; POURKASHANIAN, M. Estimation of the thermochemical radii and ionic volumes of complex ions. **Inorg. Chem.**, v. 56, n. 13, p. 7566-7573, 2017.
9. WHO. **Guidelines for drinking-water quality: first addendum to the fourth edition**. Geneva: World Health Organization, 2017.
10. XU, X.; GAO, B.; JIN, B.; YUE, Q. Removal of anionic pollutants from liquids by biomass materials: A review. **J. Mol. Liq.**, v. 215, p. 565-595, 2016.
11. YAMANI, J. S.; LOUNSBURY, A. W.; ZIMMERMAN, J. B. Towards a selective adsorbent for arsenate and selenite in the presence of phosphate: Assessment of adsorption efficiency, mechanism, and binary separation factors of the chitosan-copper complex. **Water Res.**, v. 88, p. 889-896, 2016.