

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de
Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena

Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof^o Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof^o Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof^o Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof^o Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharia sanitária e ambiental: recursos hídricos e tratamento de água 3

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia sanitária e ambiental: recursos hídricos e tratamento de água 3 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0728-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.287220911>

1. Engenharia sanitária e ambiental. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O e-book: “Engenharia sanitária e ambiental: Recursos hídricos e tratamento de água 3” é constituído por cinco capítulos de livro que tratam da disponibilidade, qualidade e principais uso de recursos hídricos para fins potáveis ou não por todos os segmentos da sociedade.

O primeiro capítulo apresenta um estudo no qual se discute a importância do monitoramento constante em relação à segurança de barragens para armazenamento de rejeitos provenientes de atividades de mineração e/ou recursos hídricos, bem como a descrição de todas as legislações nacionais existentes e vigentes no território brasileiro. O capítulo 2 se propôs a apresentar um estudo de comparação de cálculos de vazões por meio do uso do Perfilador Acústico de Corrente por efeito Doppler (ADCP) em modo estático e o método de máxima entropia M em rios brasileiros monitorados pela Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN presentes no estado da Bahia e Sergipe.

O terceiro capítulo avaliou a importância da captação de água de chuva, bem como a sua utilização para reduzir à necessidade básica de populações que não possuem acesso a água para fins potáveis ou não, bem como a redução de etapas de tratamento de água que geraria economia para a população beneficiada. O capítulo 4 analisou os diferentes impactos provenientes do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF) em relação ao canal Acauã-Araçagi, bem como estimar as tarifas de água a ser cobrada pela população beneficiária deste adutor com vazão máxima de 10 m³/s e uma extensão de 112 km, utilizando-se testes simulatórios com o ModSIM P32.

Por fim, o quinto capítulo apresenta uma proposta de utilização da argila como adsorvente para a forma mais tóxica do arsênio presente em concentrações traços e/ou ultra-traços em diferentes compartimentos aquáticos a partir da aplicação de um dispositivo de extração miniaturizado em ponteira descartável.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| ÍNDICE SUSTENTÁVEL AMBIENTAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS - ISASB | |
| Maria Bernardete Guimarães | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209111 | |
| CAPÍTULO 2 | 13 |
| PARÂMETRO M DE ENTROPIA PARA DISTRIBUIÇÕES DE VELOCIDADES EM RIOS DO NORDESTE BRASILEIRO | |
| George Rodrigues de Sousa Araújo | |
| André Luiz Andrade Simões | |
| Rodrigo de Melo Porto | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209112 | |
| CAPÍTULO 3 | 31 |
| APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS METEÓRICAS COMO CONTRIBUIÇÃO PARA A UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO À ÁGUA POTÁVEL E A RESILIÊNCIA AOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS | |
| Gabriela Cadete Souza | |
| Herlane Costa Calheiros | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209113 | |
| CAPÍTULO 4 | 38 |
| GESTÃO DAS ÁGUAS TRANSPOSTAS PELO PROJETO SÃO FRANCISCO - PISF/ EIXO LESTE: IMPACTOS SOBRE A DISPONIBILIDADE HÍDRICA E ESTIMATIVAS DAS TARIFAS DE ÁGUA PARA O CANAL ACAUÃ-ARAÇAGI, LOCALIZADO NO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA | |
| Cícero Aurélio Grangeiro Lima | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209114 | |
| CAPÍTULO 5 | 51 |
| USO DE UM DISPOSITIVO MINIATURIZADO PARA REMOÇÃO DE ARSÊNIO EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO ARGILA EXPANDIDA COMO ADSORVENTE DE EXTRAÇÃO | |
| Luciano Alves da Silva | |
| Bruno Elias dos Santos Costa | |
| Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua | |
| Nivia Maria Melo Coelho | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209115 | |
| SOBRE O ORGANIZADOR | 65 |
| ÍNDICE REMISSIVO | 66 |

USO DE UM DISPOSITIVO MINIATURIZADO PARA REMOÇÃO DE ARSÊNIO EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO ARGILA EXPANDIDA COMO ADSORVENTE DE EXTRAÇÃO

Data de aceite: 01/11/2022

Luciano Alves da Silva

Mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia, MG-Brasil
Doutorando em Química pela Universidade Federal de Uberlândia
<http://lattes.cnpq.br/5341720851752925>

Bruno Elias dos Santos Costa

Doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia, MG-Brasil.
Pós-Doutorando em Química pela Universidade Federal de Catalão, GO-Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9995122149910490>
<https://orcid.org/0000-0002-9306-0939>

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia, MG-Brasil
Pós-Doutorando em Química pela Universidade Federal de Uberlândia
<http://lattes.cnpq.br/12970002659897780>
<https://orcid.org/0000-0003-3587-486X>

Nívia Maria Melo Coelho

Doutora em Química pela Universidade Estadual de Campinas, SP-Brasil.
Professora Titular do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia, MG-Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0055547328584046>
<https://orcid.org/0000-0003-3822-4205>

RESUMO: O arsênio é um elemento tóxico, sendo o ecossistema aquático vulnerável as fontes de contaminação antrópicas e de biodisponibilidade natural. O monitoramento de arsênio em baixas concentrações aliado aos procedimentos de remediação de águas se faz cada vez mais necessário para promover um controle eficiente junto às normatizações ambientais. Neste trabalho foi proposto o uso da argila expandida como um adsorvente para remover arsênio do meio aquoso, aplicado em um dispositivo de extração miniaturizado em ponteira descartável. A extração ocorre de forma reversível com a dessorção, sendo obtidas condições ótimas para detecção do arsênio em sistema de geração de hidretos. A proposta pode ser considerada uma alternativa viável, que permite recuperar e enriquecer a quantidade de arsênio extraído, abrindo novas possibilidades para ser usado como reagente de segunda geração.

PALAVRAS-CHAVE: Arsênio, remediação, argila, adsorvente.

USE OF A MINIATURIZED DEVICE FOR REMOVING ARSENIC IN AQUEOUS ENVIRONMENTAL USING EXPANDED CLAY AS EXTRACTION ADSORBENT

ABSTRACT: Arsenic is a toxic element, and the aquatic ecosystem is vulnerable to human sources of contamination and natural bioavailability. The monitoring of arsenic in low concentrations combined with water remediation procedures is increasingly necessary to promote an efficient control along with environmental regulations. In this work it was proposed the use of expanded clay as an adsorbent to remove arsenic from the aqueous medium, applied in a miniaturized extraction device in a disposable tip. The extraction occurs reversibly with desorption, obtaining optimal conditions for the detection of arsenic in a hydride generation system. The proposal can be considered a viable alternative, which allows recovering and enriching the amount of extracted arsenic, opening new possibilities to be used as a second-generation reagent.

KEYWORDS: Arsenic, remediation, clay, adsorbent.

1 | INTRODUÇÃO

O arsênio é um elemento reconhecido por apresentar alta toxicidade mesmo presente em baixas concentrações em amostras provindas de matrizes ambientais e alimentícias. Essas amostras, uma vez contaminadas podem integrar as vias de absorção no organismo animal, e acumular espécies tóxicas de arsênio nos tecidos fisiológicos, comprometendo a regulação metabólica (MIHUCZ, 2022).

O arsênio se manifesta na natureza em suas formas inorgânicas, principalmente nas espécies trivalente, como arsenito (As^{3+}) e pentavalente, como arsenato (As^{5+}). Em menor proporção o arsênio se manifesta em formas orgânicas, como espécies metiladas (MMA e DMA), e associadas em açúcares e derivados metabólitos oriundos de vitaminas e aminoácidos, tais como arsenocolina (AsC) e arsenobetaina (AsB). Esses últimos são denominados compostos organoarsenicais, e são mais abundantes no ecossistema marinho. Compostos orgânicos de arsênio também são utilizados como aditivos em defensivos agrícolas, com por exemplo o Roxarsone^o e Daconate^o (BJØRKLUND et al., 2020).

As formas inorgânicas de arsênio são cerca de 100 vezes mais tóxicas em relação aos compostos orgânicos, sendo que a espécie trivalente é considerada a mais crítica, sendo 60 vezes mais tóxica em comparação com a sua forma mais oxidada (CHATTERJEE et al., 1995). Compostos organoarsenicais, não apresentam toxicidade significativa para a biota aquática.

O ambiente aquático é mais eficiente em acumular e biodisponibilizar espécies de arsênio do que no solo (LITER; MORGADA, 2009). Recursos hídricos minerais e águas oceânicas próximas a regiões de depósitos auríferos, de ferro, manganês, e que sofrem influência de atividade vulcânica são mais vulneráveis a contaminação por arsênio. Essa contaminação pode acarretar na acumulação nociva de arsênio em alguns alimentos cultivados sob a forma de irrigação, como o arroz (PAULELLI et al., 2019; SANTOS et al., 2021).

No Brasil, é relatado um histórico de contaminação de arsênio na região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, devido a atividades de exploração de jazidas de ouro, dos quais depósitos de pirita (FeS), são comumente encontradas (BORBA; FIGUEIREDO; CAVALCANTI, 2004). Relatos críticos de contaminação em águas influenciadas pela atividade de mineração, também foram reportados na cidade mineira de Paracatu (REZENDE et al., 2015).

A exposição humana a elevados níveis de arsênio ocorre principalmente pelo consumo de água contaminada e por alimentos preparados com essas águas. A Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA-US), em conformidade com a Organização Mundial da Saúde (OMS), revisou o limite tolerado de arsênio de 50 para 10 mg L⁻¹, em finalidades de classificação da potabilidade de água (WHO, 2010). O CONAMA também atendeu a essa nova deliberação, reforçando os valores orientadores de qualidade da água através da Resolução 357, de 17 de março de 2005, e pela Portaria 2914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde.

Diante dessa problemática, torna-se necessário o investimento em tecnologias de monitoramento do teor de arsênio em águas naturais, e quando constatado o grau de contaminação, disseminar procedimentos que visem a remediação ou mitigação dos níveis tóxicos das espécies de arsênio disponíveis no meio aquático. Procedimentos de redução da concentração de arsênio através da sua remoção por adsorção tem recebido grande destaque, devido as vantagens de simplicidade de operação, eficiência e baixo custo. Além disso, pode ser enquadrado como uma alternativa ecologicamente viável, quando se usam adsorventes provindos do reuso adequado de materiais naturais, como os de constituição lignocelulósica (PANIAGUA; COSTA; COELHO, 2021)

A adsorção de arsênio foi satisfatoriamente investigada através do uso da farinha da casca de banana (PANIAGUA et al., 2021) e da casca de maracujá (SANTOS et al., 2021), visando aplicação no tratamento de águas contaminadas. Tratando-se de materiais de constituição mineral, o uso de argilas apresenta características físico-químicas compatíveis para serem agregadas às vantagens da classe de adsorventes naturais, possibilitando seu estudo nos procedimentos de remoção de arsênio em água.

A grande maioria dos procedimentos experimentais baseados em adsorção, são realizados através de testes em batelada. Se tratando de resíduos aquosos contaminados, e da expectativa de concentração de arsênio a níveis traço, ainda são poucos os trabalhos que podem ser efetivamente aplicados em uma escala menor. Nessas condições, normalmente se empregam pequenos volumes de amostra, logo o uso de dispositivos miniaturizados para procedimentos de adsorção se torna mais adequada, uma vez que podem ser menos dispendiosas e menos onerosas do que as são executadas em batelada. A extração em ponteira descartável conhecida como procedimento DPX é uma alternativa que tem se destacado ultimamente para o desenvolvimento de procedimentos de adsorção em fase sólida, que pode ser adequada em escala miniaturizada (BORDIN et al., 2016; PINTO; QUEIROZ, 2015).

No procedimento DPX, uma pequena quantidade da fase sólida adsorvente é

aconditionada no interior de uma ponteira de pipeta descartável, do qual é acoplada em uma seringa para promover uma rápida dispersão de ar, no momento em que se aspira a amostra. A extração do analito é prontamente realizada pela dispersão eficiente da amostra nas partículas do adsorvente, promovendo um contato dinâmico e instantâneo. O procedimento DPX pode ser facilmente adaptado a condições de infraestrutura laboratorial disponível, e compatível para determinações moleculares e elementares (FERNANDES et al., 2014; SILVA et al., 2022; TOMASIN *et al.*, 2021).

Neste trabalho, é proposto o uso da argila expandida como uma fase sólida adsorvente a ser empregada em um dispositivo de extração de arsênio através dos mecanismos de adsorção, utilizando uma adaptação do procedimento DPX, com o objetivo de ser aplicado a remoção de arsênio em amostras aquosas que podem estar contaminadas.

2 | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiais e Reagentes

Soluções de trabalho de As^{3+} na concentração de $20,0 \mu\text{g L}^{-1}$ foram preparadas por diluição adequada da solução estoque (1000 mg L^{-1}) em água deionizada. A solução estoque foi obtida pela dissolução de NaAsO_2 em meio de $\text{HCl } 0,3 \text{ mol L}^{-1}$.

Para o sistema de extração, bem como na etapa de análise e determinação de arsênio, foram preparadas soluções aquosas de HCl partindodo reagente concentrado de grau P.A. Soluções do redutor NaBH_4 foram estabilizadas em meio de $\text{NaOH } 0,5\% \text{ (m/v)}$.

Soluções de NaOH e $\text{HCl } 0,1 \text{ mol/L}$ foram utilizadas para ajustar o pH do meio aquoso das amostras. O ajuste foi feito através de um pHmetro de bancada com eletrodo de membrana de vidro combinado com eletrodo de referência Ag/AgCl .

2.2 Dispositivo de extração em ponteira descartável

Para montagem do sistema DPX adaptado para uma escala miniaturizada, foram utilizadas ponteiras plásticas descartáveis de micropipetas automáticas de 5 a 10 mL (tipo Gilson). Para promover a aspiração e a dispersão da amostra, foram utilizadas seringas plásticas com a abertura injetável ajustada ao encaixe com a base superior da ponteira. Na extremidade inferior da ponteira, foi introduzida uma pequena porção de lã de vidro, afim de promover filtragem e limpeza durante a aspiração da amostra.

A argila expandida, utilizada como adsorvente extrator foi obtida em casas de jardinagem comerciais. Partes maiores do sólido foram primeiramente quebradas com auxílio de um martelo e em seguida trituradas em moinho e peneiradas. As partículas de argila trituradas foram lavadas com água deionizada e secas em estufa. Foram pesadas $40,0 \text{ mg}$ do pó da argila expandida e introduzidas manualmente para dentro da ponteira. Em seguida, foi feita uma lavagem com $1,0 \text{ mL}$ de água deionizada para condicionamento do sólido e posterior inserção do filtro superior com lã de vidro para apoio no encaixe com a seringa.

As etapas de extração de arsênio consistiram na aspiração de uma alíquota de $4,0$

mL da solução amostra ou solução teste de $\text{As}^{\text{III}} 20,0 \text{ mg L}^{-1}$, seguida da aspiração de ar para promover a dispersão com o adsorvente durante 40 s. Após esse tempo de contato, a solução aspirada foi descartada. O conjunto dessas etapas foi denominada como um ciclo de extração, do qual ocorre-se a remoção de arsênio da matriz aquosa.

A fim de se obter a recuperação da quantidade de arsênio adsorvida na argila, realizou-se uma etapa de eluição. Essa etapa consistiu na aspiração de uma alíquota de 0,5 mL da solução eluente de HCl para dessorver o arsênio da fase sólida, seguida da aspiração de ar (aproximadamente 3,0 mL). Posteriormente, a solução foi dispensada em frasco de leitura da amostra para análise.

As etapas do procedimento foram ilustradas na Figura 1, representando o ciclo de extração e eluição, executados no dispositivo de DPX adaptado:

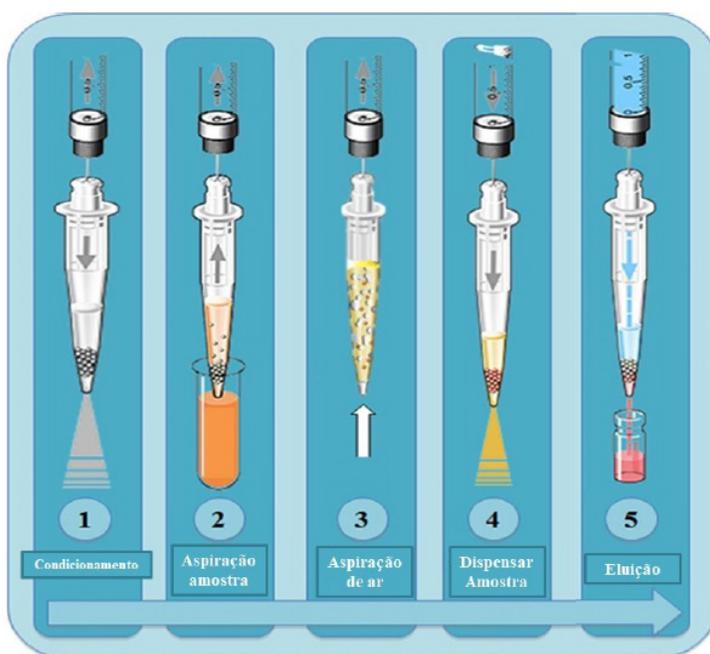


Figura 1: Ilustração das etapas experimentais da extração de arsênio por DPX.

Fonte:: Adaptado de BORDIN et al., 2016

2.3 Sistema analítico de determinação de arsênio e otimização

O arsênio foi detectado e determinado nas amostras aquosas por Espectrometria de Absorção Atômica por Chama com Geração de Hidretos (HG-AAS). Um sistema comercial de Geração de Hidretos VGA 77 (Varian®, Victoria, Austrália), foi acoplado ao espectrômetro, equipado com atomizador de cela de quartzo posicionada sobre o queimador e alinhado ao feixe óptico emitido da lâmpada de cátodo oco de arsênio, operando nas especificações do fabricante. A representação esquemática do sistema VGA 77, com *desing* de funcionamento

em sistema de fluxo contínuo, está representada pela Figura 2.

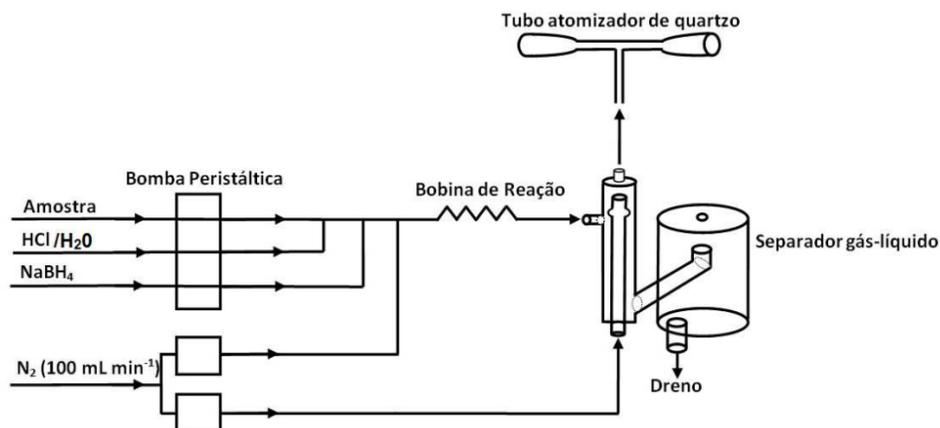


Figura 2. Representação esquemática do sistema comercial de geração de hidretos VGA77.

Fonte: Manual do usuário (VGA 77)

A absorvância foi tomada como sinal analítico, da qual foi otimizada em função da recuperação de arsênio obtida após eluição da quantidade adsorvida na fase sólida do dispositivo. A otimização foi realizada de modo multivariado, através da construção da matriz de planejamento fatorial 2^5 , das quais foram avaliadas as seguintes variáveis: *i*) concentração de HCl; *ii*) concentração do redutor NaBH_4 ; *iii*) vazão da amostra; *iv*) vazão do redutor NaBH_4 e *v*) vazão do HCl. Para um refinamento da triagem realizada pelo planejamento fatorial, um modelo de superfície de resposta foi desenvolvido por meio do Planejamento Composto com Ponto Central (CCD). O tratamento estatístico da otimização dos dados analíticos foi executado com auxílio do software *Statistica 7.0* (StatSoft).

Os níveis estudados para cada variável referente aos planejamentos fatorial e CCD estão representados na Tabela 1.

| Nível | Variáveis | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|--------------------------------------|--|
| | HCl (mol L ⁻¹) | NaBH ₄ %(m/v) | Vazão amostra (mL min ⁻¹) | Vazão HCl (mL min ⁻¹) | Vazão NaBH ₄ (mL min ⁻¹) |
| Planejamento Fatorial | | | | | |
| -1 | 1,0 | 0,10 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 0 | 5,5 | 0,45 | 1,1 | 2,3 | 2,3 |
| +1 | 10,0 | 0,80 | 1,4 | 4,5 | 4,5 |
| Planejamento Composto Central (CCD) | | | | | |
| -1,68 | 5,0 | 0,1 | --- | --- | 1,5 |
| -1 | 6,0 | 0,5 | --- | --- | 2,3 |
| 0 | 7,0 | 0,8 | --- | --- | 4,5 |
| +1 | 8,0 | 1,2 | --- | --- | 5,5 |

| | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| +1,68 | 9,0 | 1,5 | --- | --- | 6,7 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|

Tabela 1. Níveis das variáveis investigadas na otimização multivariada para construção das matrizes dos planejamentos fatorial 2⁵ e CCD.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente foi investigada o efeito da variação do pH do meio aquoso da amostra sobre a adsorção de As^{3+} na argila expandida. Os valores de pH testados, variaram na faixa de 2,0-10,0. Nesse ensaio, a solução amostra que foi aspirada, deixada em contato com o adsorvente e posteriormente dispensada pelo dispositivo DPX (sobrenadante), foi levada para análise no sistema HG-AAS. A absorbância foi usada como sinal analítico para determinação qualitativo teor de arsênio remanescente. A remoção foi calculada mediante a diferença relativa da absorbância da solução inicial (As^{III} 20,0 $\mu g L^{-1}$), pela absorbância do sobrenadante. Os resultados são apresentados na Figura 3A.

Uma vez avaliada a influência do pH sobre a extração, foi realizado um estudo da capacidade de recuperação do arsênio removido. O ensaio foi baseada na desorção do arsênio provindo das mesmas soluções empregadas no ciclo de extração, em relação aos seus respectivos valores de pH. O As^{3+} foi desorvido da argila expandida por eluição com solução de HCl 0,1 mol L^{-1} . A recuperação foi expressa a partir do ganho de sinal obtido pela etapa de eluição, a fim de que o procedimento seja promissor para efeito de pré-concentração em amostras contaminadas a níveis traço de arsênio. O ganho de sinal foi calculado pela razão entre as absorbâncias da solução eluída em relação ao sinal da solução de As^{III} 20,0 $\mu g L^{-1}$, tomada como controle. A Figura 3B apresenta os resultados obtidos da recuperação de arsênio.

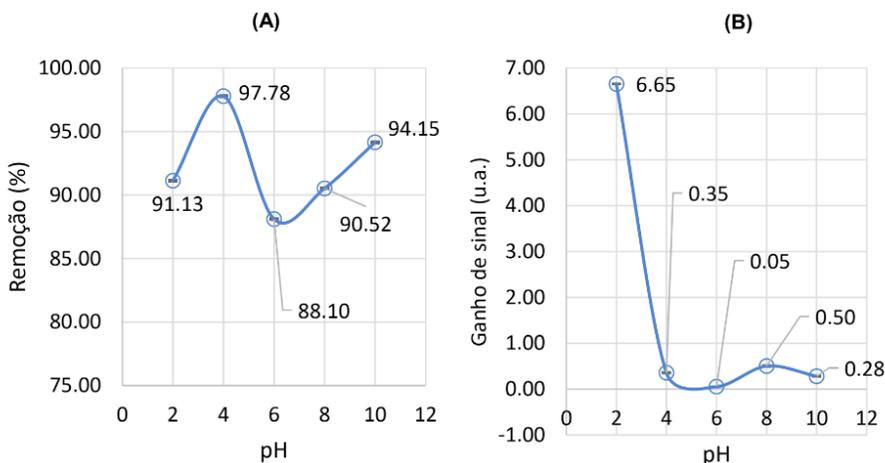


Figura 3. (A) Efeito da variação do pH sobre a remoção de As^{3+} em meio aquoso por adsorção na argila expandida. (B) Estudo da influência do pH sobre a recuperação de As^{3+} mediante etapa de eluição (Controle: 0,0496 de absorbância para As^{3+} 20,0 $\mu g L^{-1}$).

Fonte: Os autores (2022)

Os resultados indicam que a argila expandida apresenta boa capacidade de adsorção de As^{3+} do meio aquoso, com remoção média de 92,34%. Esse valor representa um desempenho satisfatório das condições de extração empregadas no sistema DPX. Melhor resultado de remoção pôde ser alcançado em pH 4,0. Nesse pH, a superfície da argila se encontra carregada positivamente, uma vez que a partir desse estudo, foi verificado um valor de pH de carga zero próximo a neutralidade ($\text{pH}_{\text{PCZ}} = 7,2$). Nessa condição de acidez, o As^{III} , se manifesta na forma do ácido arsenioso (H_3AsO_3 ; $\text{pK}_{\text{a}_1} = 9,2$; $\text{pK}_{\text{a}_2} = 12,1$), como uma espécie eletricamente neutra, uma vez que se encontra completamente protonada.

O favorecimento da remoção de arsênio nessas condições, dão indícios de que o mecanismo de adsorção pela argila não ocorre de forma específica, por interações químicas eletrostáticas. A retenção pode ser razoavelmente explicada através da formação da membrana de Donnan, como acontece nos processos de troca iônica por exclusão. Em amostras aquosas, os grupos funcionais da argila se tornam hidratados, sendo permeada por uma camada negativamente carregada (membrana de Donnan), que permite que somente moléculas não dissociadas possam atravessá-la (EITH et al., 2006). Nesse caso, como o H_3AsO_3 é uma molécula neutra, esta consegue atravessar a membrana de Donnan e ser adsorvida pela argila através do estabelecimento de ligações de hidrogênio.

A eficiência do ciclo de extração em pH 4,0 se deve ao fato de que a espessura da camada de hidratação delimitada pela membrana de Donnan se torna maior em comparação com o que ocorre em pH 2,0 e 6,0. Esse fenômeno permite que um ligeiro excesso de H_3AsO_3 seja adsorvido pela argila.

O aumento da adsorção observado em pH 10,0 ($>\text{pH}_{\text{PCZ}}$; $>\text{pK}_{\text{a}_1}$), pode ser justificado em função da contra-carga (positiva) da atmosfera iônica que circunda a espécie aniônica H_2AsO_3^- . Devido ao aumento da força iônica do meio provocada pela adição de NaOH, pode-se promover interações de natureza eletrostática favoráveis na superfície do adsorvente, que nessa condição encontra-se com sítios ativos carregados negativamente.

Já com relação a recuperação de arsênio, os resultados indicam de forma geral, que a solução de HCl na concentração de $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ não foi suficiente para promover uma eluição significativa. Observa-se um maior ganho de sinal para arsênio recuperado na solução amostra com pH 2,0. Sugere-se que nessa condição fortemente ácida, a superfície da argila pode estar saturada em sítios de carga positiva, ocorrendo o pareamento iônico direto com ânions cloreto. Dessa forma, a membrana de Donnan pode não ser eficientemente estabelecida durante a extração, o que facilita a dessorção de arsênio.

Diante do que foi exposto, no intuito de melhorar a eficiência da etapa de eluição e recuperação do arsênio, foi realizado um estudo variando a concentração da solução de HCl na faixa de $0,10$ - $1,25 \text{ mol L}^{-1}$. Para esse estudo, foi fixado o valor de pH 4,0 durante o ciclo de extração. Os resultados são mostrados na Figura 4 a seguir.

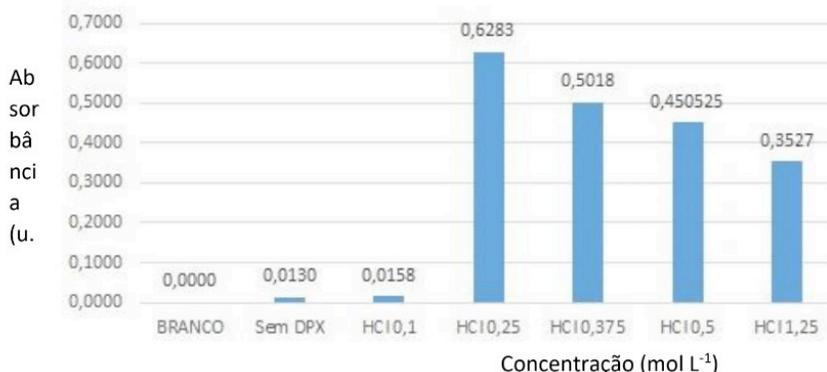


Figura 4. Estudo da variação da concentração da solução de HCl como eluente para recuperação de arsênio por dessorção (Obs.: Água deionizada foi tomada como amostra em branco. O teste sem DPX representa a leitura da solução controle de As³⁺ 20,0 µg L⁻¹).

Fonte: Os autores (2022).

A concentração de HCl 0,25 mol L⁻¹ foi escolhida como a melhor condição para aprimorar a recuperação do arsênio durante a eluição. Essa concentração representa um ganho de sinal de 48,33 vezes em relação ao sinal obtido da solução controle, que não passou pelo procedimento de extração DPX. Concentrações maiores do eluente HCl passam a contribuir mais para a degradação da rede cristalina mineral da sílica, reduzindo a dimensão das partículas de argila dispersas, e aumentando conseqüentemente a superfície de contato do adsorvente. Isso faz com que a dessorção do arsênio seja dificultada, resultando numa queda na capacidade de recuperação do arsênio.

A melhora do sinal alcançado para o arsênio recuperado na etapa de eluição se torna primordial para promover boa sensibilidade de detecção no sistema HG-AAS. Visando a aplicação em amostras de águas naturais, espera-se que os prováveis níveis de arsênio oriundos por fontes de contaminação se enquadrem em uma ordem de grandeza muito baixa. Para tanto, é fundamental certificar que a técnica analítica escolhida para detecção, apresente capacidade para quantificar concentrações a níveis por partes por bilhão (ppb, equivalente a µg L⁻¹) com precisão e exatidão aceitáveis.

A sensibilidade de detecção de As^{III} pelo sistema HG-AAS foi checada através da construção de uma curva de calibração (Figura 5), do qual pôde-se verificar que os limites de detecção e quantificação obtidos pelo equipamento foram respectivamente 2,52 e 8,42 µg L⁻¹ respectivamente.

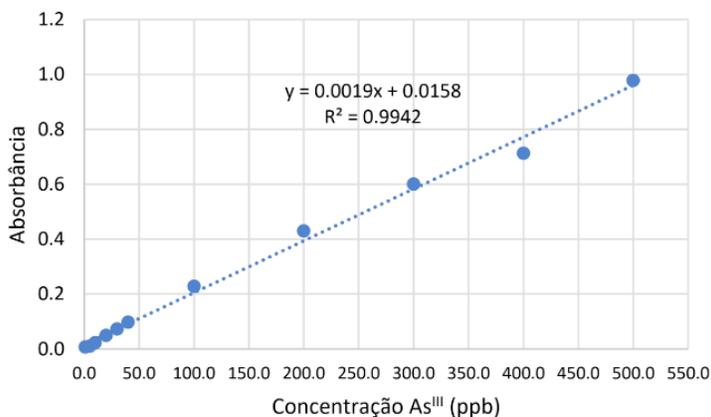


Figura 5. Curva de calibração obtida para padrões aquosos de As³⁺ no sistema HG-AAS.

Fonte: Os autores (2022).

A fim de garantir o comprometimento da detectabilidade de As³⁺ a níveis traço, frente a possibilidade de pré-concentração no momento em que se proporciona a recuperação do arsênio extraído pela argila, foram feitos ensaios de otimização multivariada das variáveis que influenciam o sistema HG-AAS. Os efeitos de cada variável estudada, bem como os efeitos de interação conjunta (de segunda ordem) entre as variáveis estão apresentadas no gráfico de Pareto (Figura 6). Os resultados foram tratados ao nível de 95% de confiança, dos quais podem ser considerados significativas as variáveis que apresentaram valor de efeito que ultrapassaram a linha de corte em $p=0,05$.

De acordo com o Gráfico de Pareto, a concentração do redutor NaBH₄ foi a variável que apresentou maior efeito significativo, sendo a de maior importância no sistema HG-AAS, seguido da concentração do HCl. Os efeitos positivos dessas variáveis indicam que maiores concentrações do redutor e do ácido favorecem o sinal analítico. A reação de geração do hidreto volátil de arsênio (AsH₃) é promovida pela ação do redutor em meio suficientemente ácido, para que haja a evolução de hidrogênio nascente, reativo com a espécie trivalente de arsênio.

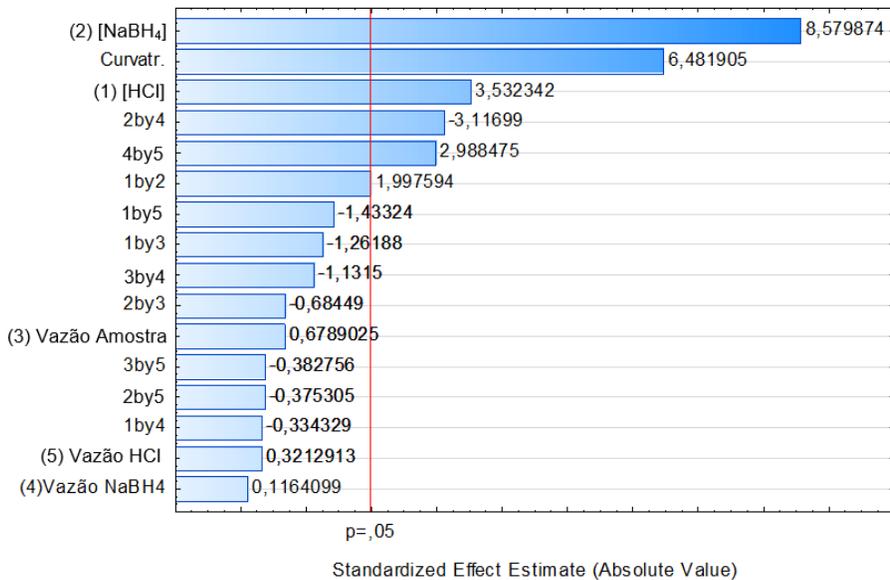


Figura 6. Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis obtidas pelo planejamento fatorial 2^5 .

Fonte: Os autores (2022).

Uma das principais vantagens da otimização multivariada em relação ao modo univariado, é a possibilidade de investigar a interação entre as variáveis, além do número reduzido de experimentos (NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1995). Tal fato pode ser observado pela importância da interação entre os efeitos das vazões do ácido e redutor, que isoladamente não apresentem qualquer efeito significativo sobre o sinal. O efeito positivo dessa interação (4'5) indica um comportamento sinérgico, com favorecimento da absorvância, quando as soluções do ácido e do redutor são introduzidas no sistema de fluxo do HG-AAS nos respectivos níveis maiores de vazão simultaneamente. A vazão da amostra não apresentou influência sobre o sinal de detecção, bem como sua interação com outras variáveis também não resultou em efeitos significativos.

Um outro aspecto importante que deve ser levado em consideração, é a contribuição da curvatura sobre o modelo matemático linear fornecido pelo planejamento fatorial. O experimento realizado nas condições do ponto central (nível 0), é importante para estimar o efeito da concavidade sobre o plano do domínio experimental. O gráfico de Pareto indica que o efeito da curvatura foi significativo, e que um modelo linear não se mostra adequado para uma estimativa das condições ótimas de detecção. Para tanto, um modelo matemático quadrático foi desenvolvido a partir da construção de uma matriz CCD (*Central Composite Desing*).

Para a construção do CCD foram tomadas as variáveis de maior importância indicadas pelo gráfico de Pareto, como a concentração do HCl, bem como a concentração e vazão do NaBH₄. Os novos níveis estudados para essas variáveis no Planejamento Composto Central partiram da indicação de triagem revelados pelo planejamento fatorial.

A vazão do HCl foi fixada em $4,5 \text{ mL min}^{-1}$ e não foi incluída na matriz CCD, uma vez que experimentos realizados em vazões maiores poderiam ocasionar a formação em excesso do gás H_2 que podem provocar diluição do hidreto volátil de ceta atomização de quartzo, comprometendo a sensibilidade de detecção, além do risco de ignição.

O tratamento dos resultados obtidos pela execução da matriz CCD, possibilitou a construção das superfícies de respostas quadráticas, dos quais são ilustradas nas Figuras 7A, 7B e 7C a seguir:

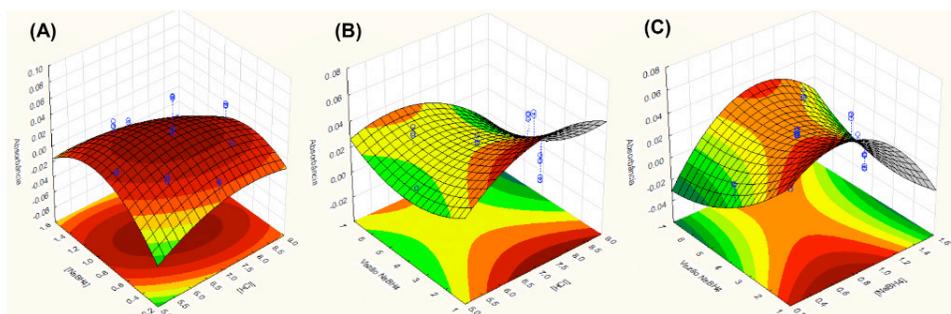


Figura 7. Superfícies de resposta obtidas por CCD. (A) $[\text{HCl}]$ e $[\text{NaBH}_4]$; (B) $[\text{HCl}]$ e vazão NaBH_4 ; (C) $[\text{NaBH}_4]$ e vazão NaBH_4 .

Fonte: Os autores

A Análise de Variância (ANOVA) indicou a razoabilidade do modelo quadrática, com uma variação explicada de 66,27% dos dados, com uma média de erro puro de $6,0 \cdot 10^{-6}$. As superfícies acusaram um ponto crítico que pode ser considerada representativa das condições ótimas de detecção pelo sistema HG-AAS, sendo elas: HCl $6,6 \text{ mol L}^{-1}$ e NaBH_4 0,9% (m/v), operando em uma vazão de $4,7 \text{ mL min}^{-1}$.

4 | CONCLUSÃO

A argila expandida se mostrou eficiente para adsorção de As^{3+} em meio aquoso, com remoção superior a 90%. O dispositivo de extração por DPX se mostrou uma alternativa viável para miniaturização, possibilitando a recuperação de arsênio e seu enriquecimento durante a eluição com HCl. Condições ótimas de detecção pelo sistema HG-AAS puderam ser estimadas por meio de ferramentas de otimização multivariada. A proposta deste trabalho se mostra promissora para remediar recursos hídricos contaminados com arsênio, além de abrir novas possibilidades para ser recuperado e usado como reagente de segunda geração.

REFERÊNCIAS

BJØRKLUND, G. et al. Arsenic intoxication: general aspects and chelating agents. *Archives of Toxicology*, v. 94, p. 1879-1897, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02739-w>

- BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; CAVALCANTI, J. A. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Escola de Minas**, v. 57, n. 1, p. 45-51, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672004000100009>
- BORDIN, D. C. M. *et al.* Disposable pipette tips extraction: Fundamentals, applications and state of the art. **Journal of Separation Science**, v. 39, p. 1168-1172, 2016. <https://doi.org/10.1002/jssc.201500932>
- CHATTERJEE, A. *et al.* Arsenic in ground water in six districts of West Bengal, India: the biggest arsenic calamity in the world. Part I. Arsenic species in drinking water and urine of the affected people. **Analyst**, v. 120, p. 643-350, 1995. <https://doi.org/10.1039/AN9952000643>
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 357, de 17 de março de 2005.
- EITH, C. *et al.* **Práticas em cromatografia de íons – Uma introdução**. Metrohm (monografia), 2ª ed., p. 142, 2006.
- FERNANDES, V. C. *et al.* Comparison of Disposable Pipette Extraction and Dispersive Solid-Phase Extraction in the QuEChERS Method for Analysis of Pesticides in Strawberries. **Journal of Chromatographic Science**, v. 52, p. 1339–1345, 2014. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmu003>
- LITTER, M.; MORGADA, M. E. Formas arsenicales en agua y suelos. In: Litter, M. I.; Armienta, M. A.; Farías, S. S. (Eds.). **Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos**. CYTED, Buenos Aires, AR, Chapter 1, p. 19-28, 2009.
- MIHUCZ, V. G. Regional and Global Scale Challenges for Controlling Arsenic Contamination in Agricultural Soil, Water Supplies, Foods and Ayurvedic Medicines. **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**, v. 9, n.36, p. 14-51, 2022. <http://dx.doi.org/10.30744/bjrj.ac.2179-3425.RV119-2021>
- NETO, B. D. B. SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização de Experimentos**. 2ª ed., p. 299, 1995.
- PANIAGUA, C. E. S.; COSTA, B. E. S. ; COELHO, N. M. M. Procedimentos alternativos de adsorção no tratamento de efluentes: Uma triagem experimental. **Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2**, In: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. (Org.). 1ª ed. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 1, p. 80-91, 2021. <https://doi.org/10.22533/at.ed.2552130067>
- PANIAGUA, C. E. S. *et al.*, Evaluation of Banana Peel Flour in natura and Modified with Thiosemicarbazide in the Adsorption of As(III) in Different Aqueous Matrices. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 2, p. 551-567, 2021. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20210008>
- PAULELLI, A. C. C. *et al.* Evaluation of uptake, translocation and accumulation of arsenic species by six different Brazilian rice (*Oryza sativa*) cultivars. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 169, p. 376-382, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.025>
- PINTO, M. A. L. *et al.* Disposable Pipette Extraction (DPX): Fundamental principles and applications. **Scientia Chromatographica**, v. 7, n. 2, p. 101-108, 2015. <https://doi.org/10.4322/sc.2015.019>
- REZENDE, P. S. *et al.* Arsenic Mobility in Sediments from Paracatu River Basin, MG, Brazil. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 68, p. 588-602, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0134-y>

SANTOS, E. E. et al. Passion fruit peel flour as arsenic biosorbent for water treatment. **Práticas pedagógicas inovadoras e metodologias ativas no ensino de química nos períodos iniciais da graduação**. In: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. (Org.). 1ª ed. Ponta Grossa: Atena Editora, v. 1, p. 156-175, 2021. <https://doi.org/10.22533/at.ed.28021260815>

SANTOS, M. L. G. et al. Analysis and risk assessment of arsenic in rice from different regions of Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 99, n. 103853, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103853>

SILVA, W. R. et al. Development of a Disposable Pipette Extraction Method Using Coffee Silverskin as an adsorbent for chromium determination in wastewater samples by Solid Phase Extraction. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 33, n. 5, p. 498-507, 2022. <https://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20210171>

TOMASIN, G. S. et al. Highly sensitive determination of Cu(II) ions in hemodialysis water by F AAS after disposable pipette extraction (DPX) using Moringa oleifera as solid phase. **Microchemical Journal**, v. 161, n. 105749, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105749>

WHO, **Exposure to arsenic: A major public health concern**, 2010. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs210/en/print.html>. Acesso em: 21 nov. 2017.

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA - Técnico em Química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Bacharel em Química pela Universidade de Uberaba (2011), em Ciências Biológicas (2021) e em Física (2022) pela Faculdade Única. Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista em Ciências Naturais e Mercado de Trabalho (2022) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2015), com ênfase no desenvolvimento de um bioadsorvente para remoção de íons As(V), Sb(III) e Se(IV) em diferentes matrizes aquáticas. Doutorado em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2018), com ênfase em Processos Oxidativos Avançados [fotocatálise heterogênea ($\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ e $\text{TiO}_2/\text{Solar}$, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$) para remoção de contaminantes de preocupação emergente (CPE) em diferentes matrizes aquáticas. Realizou o primeiro estágio de Pós-Doutorado (de maio de 2019 a junho de 2021) na Universidade Federal de Uberlândia com ênfase na aplicação de novos agentes oxidantes utilizando radiação solar para remoção de CPE em efluentes de uma estação de tratamento de esgoto. Atualmente está realizando sua segunda Prática de Pós-Doutorado (julho de 2021 - atual) na UFU na mesma linha de pesquisa. Atuei durante 11 anos como técnico químico no Instituto Federal de Goiás, tendo sido responsável pela análise de parâmetros físico-químicos e biológicos de água e efluentes de estação de tratamento de efluentes. Atualmente, vem atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) estudos de acompanhamento do CPE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV C}$, $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ e foto-Fenton e outros) para remoção de CPE em efluentes de estação de tratamento de efluentes para reuso; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (vi) Educação Ambiental e; (vii) alfabetização científica e processos de alfabetização na área de Ciências Naturais, especialmente biologia e química.

A

- Absorbância 56, 57, 61
Adsorção 53, 54, 57, 58, 62, 63
Adsorvente 2, 51, 53, 54, 55, 57, 58, 59
Afluência hídrica 39
Água potável 31, 32, 33, 35, 36, 37
Águas atmosféricas 32
Águas meteóricas 31, 32, 34, 36
Águas pluviais 31, 34, 36
Água tratada 31, 32, 33, 34, 36
Analito 54
Argila 2, 51, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 62
Arsênio 2, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63

B

- Bacia do Rio Paraíba 41
Barragens 2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 40

C

- Cloração 35
Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) 3, 7

D

- Desinfecção 34, 35
Dessorção 51, 57, 58, 59

E

- Ecosistema aquático 51
Entropia M 2, 13
Escassez hídrica 39
Espectrometria de Absorção Atômica por Chama com Geração de Hidretos (HG-AAS) 55
Estações fluviométricas 14, 15, 16, 17

F

- Fundo de Emergência Internacional das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) 33

I

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) 33

Índice de Segurança de Barragens (ISB) 4, 10, 11

Índice de Sustentabilidade Ambiental de Segurança de Barragens (ISASB) 4

J

Jusante 1, 4, 9, 11, 24, 41, 44

L

Lâmpada de catodo oco 55

M

Mananciais 32

Medição de vazão 13, 15, 16, 17, 28, 30

Micro-organismos 35

Montante 2, 4, 8, 9, 10, 24

O

Organização das Nações Unidas (ONU) 33

Organização Mundial da Saúde (OMS) 32, 33, 53

P

Perfilador Acústico de Corrente por efeito Doppler (ADCP) 2

Plano de Ação de Emergência 2, 8

Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) 1, 2, 7, 11

Projeto de Integração do rio São Francisco 2, 38

R

Recursos hídricos 1, 2, 1, 3, 7, 8, 11, 12, 13, 29, 30, 42, 52, 62

Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) 2, 13, 14

Remediação 51, 53, 65

S

Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) 2

Sistema público de abastecimento de água 35

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br