

Abordagens na mitigação dos efeitos da contaminação por metais pesados na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara

A Baía de Guanabara é uma das regiões litorâneas mais afetadas por contaminação no estado do Rio de Janeiro. Isso porque a região da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara possui histórico de despejo de contaminantes industriais, sofre com ausência de tratamento de esgoto doméstico e outros efeitos antrópicos. O objetivo deste estudo foi realizar uma expedita revisão bibliográfica sobre contaminação por metais pesados, a fim de atualizar dados previamente coletados por Silva et al. (2018) no levantamento de metais pesados da sub-bacia do Rio Estrela, no município de Duque de Caxias: em seu trabalho, os autores documentaram dados alarmantes associados aos elementos chumbo, prata, cobre, zinco e molibdênio. Como metodologia de pesquisa para o presente artigo, foi utilizada a revisão bibliográfica com abordagem qualitativa. Para isso, foram utilizados endereços eletrônicos de acesso livre, como Science Electronic Library (SciELO), PubMed e Google Acadêmico, sob o recorte temporal entre 2017 e 2021. Novos achados, como o uso de nanotecnologias na remoção de metais pesados, podem ter aplicações promissoras na mitigação da contaminação, porém, são necessárias algumas modificações profundas e envolvendo múltiplos agentes para garantir a saúde ambiental da Baía. Como a população utiliza a água contaminada para abastecimento, subsistência e lazer, espera-se que os levantamentos aqui ilustrados demonstrem a urgência na mudança desse panorama.

Palavras-chave: Metais pesados; Contaminação; Baía de Guanabara.

Approaches to mitigate the effects of contamination by heavy metals in the Guanabara Bay hydrographic basin

Guanabara Bay is one of the coastal regions most affected by contamination in the state of Rio de Janeiro. This is because the Guanabara Bay watershed region has a history of dumping industrial contaminants, suffers from a lack of domestic sewage treatment and other anthropogenic effects. The objective of this study was to carry out an expeditious literature review on heavy metal contamination, in order to update data previously collected by Silva et al. (2018) in the survey of heavy metals in the Rio Estrela sub-basin, in the municipality of Duque de Caxias: in their work, the authors documented alarming data associated with the elements lead, silver, copper, zinc and molybdenum. As a research methodology for this article, a bibliographic review with a qualitative approach was used. For this, free access electronic addresses were used, such as Science Electronic Library (SciELO), PubMed and Google Scholar, with a time frame between 2017 and 2021. New findings, such as the use of nanotechnologies in the removal of heavy metals, may have applications promising in mitigating contamination, however, some profound modifications involving multiple agents are necessary to guarantee the environmental health of the Bay. As the population uses contaminated water for supply, subsistence and leisure, it is expected that the surveys illustrated here demonstrate the urgency in changing this situation.

Keywords: Heavy metals; Contamination; Guanabara Bay.


Topic: **Engenharia Ambiental**

Received: **24/06/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: **06/10/2022**

Ilanna Pettezzoni Delman 
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7178482586766577>
<http://orcid.org/0000-0002-8063-1376>
ilann2@gmail.com

Josimar Ribeiro de Almeida 
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3215586187698472>
<http://orcid.org/0000-0001-5993-0665>
almeida@poli.ufri.br



DOI: 10.6008/CBPC2237-9290.2022.002.0007

Referencing this:

DELMAN, I. P.; ALMEIDA, J. R.. Abordagens na mitigação dos efeitos da contaminação por metais pesados na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara. **Natural Resources**, v.12, n.2, p.66-73, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2022.002.0007>

INTRODUÇÃO

A contaminação ambiental por compostos inorgânicos é constante e anualmente, milhares de toneladas de poluentes são descartados no meio ambiente, acarretando a contaminação de água potável e alimentos (SINGH, 2005; SULE et al., 2020, citado por TEIXEIRA et al., 2020). Dentre as classificações dos poluentes, estão os metais pesados ou metais traço (ESTRELA et al., 2018). Ao contrário de poluentes orgânicos, os metais pesados não se biodegradam, apresentam baixa solubilidade em água e alguns têm elevada meia vida, podendo se tornar uma ameaça (CHOPRA et al., 2015, citado por TEIXEIRA et al., 2020; MOURO et al., 2019). Eles possuem diferentes definições, mas dados recentes de Jesus et al. (2020) os caracterizam como elementos metálicos de alto peso atômico ou densidade superior à 5g/cm^3 (CHITLHLANGO, 2021), sendo alguns deles: Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, V, Zn, Pb, Cd, Hg, As, Cr, Pb, Sn (ABREU et al., 2002, citado por ESTRELA et al., 2018; CHIBUIKE et al., 2014, citados por SOUZA, 2019).

Quando em decorrência de processos naturais, como resíduos de rochas liberados pelo intemperismo, os metais pesados são encontrados na crosta terrestre em concentrações muito baixas, sendo eles: Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt e Au (SILVA, 2002). No entanto, as atividades antrópicas vêm aumentando significativamente sua concentração no solo, atmosfera e água subterrânea, através da descarga de efluentes industriais dentro de rios, lagos e oceanos (CAMARGO et al., 2001, citado por ESTRELA et al., 2018; MANTOVANI, 1988, citado por MACHADO et al., 2002) - é constatado que em áreas próximas de complexos industriais e urbanos há um aumento nos teores de Zn, Pb, Ni, Cd, Cu, Hg e As (PENKOV, 1991). Além disso, a incineração de lixo urbano produz emissões de gases ricos em metais, principalmente mercúrio, chumbo e cádmio que podem ser solubilizados pela água contaminando no processo, animais aquáticos que fazem parte da cadeia alimentar. As indústrias metalúrgicas, de tintas, de cloro e polímeros, utilizam metais traço, que, quando lançados irregularmente no ambiente, majoritariamente contaminam os cursos de águas e lençóis freáticos (SOUZA et al., 2018).

A presença destes xenobióticos contribui para alguns cenários deletérios. Ao adentrarem o sistema aquático, os metais pesados podem afetar os ecossistemas aquáticos ao nível de estabilidade, resistência e resiliência, com inúmeras e drásticas consequências para sua dinâmica (SILVA et al., 2018). Além disso, o assoreamento (material derivado de dragagens em alguns portos e estaleiros da região) associado a metais pesados e óleo nos sedimentos costeiros também influencia na mortalidade de peixes, e conseqüentemente, na produção pesqueira artesanal (ASSIS et al., 2019). Os metais traço podem, ainda, entrar na cadeia alimentar, podendo se concentrar nos tecidos vivos em um processo chamado de bioacumulação (VARDHAN et al., 2019). Através da transferência trófica, animais em posições elevadas na cadeia alimentar possuirão maiores concentrações teciduais de metais (MOURO et al., 2019). Nesse sentido, a ingestão de pescados, plantas ou água contaminada pela descarga de efluentes contaminados pode resultar na intoxicação humana.

Ao longo dos anos, foram descritas alterações em parâmetros fisiológicos humanos conseqüentes da exposição de poluentes ambientais, em que a bioacumulação esteve associada a patologias nos sistemas

endócrino, nervoso e respiratório, rins e fígado. Em decorrência desse processo, também pode ocorrer a redução da fertilidade, de atividades cerebrais, alteração dos componentes sanguíneos, distrofia muscular, esclerose múltipla, câncer e Alzheimer (WONG et al., 2000; MOURO et al., 2019, citados por TEIXEIRA et al., 2020), estando o órgão afetado diretamente relacionado com o poluente estudado, via de penetração, dose e tempo de exposição (TEIXEIRA et al., 2020). Portanto, a contaminação por metais pesados é, também, um problema de saúde pública (VARDHAN et al., 2019).

No estado do Rio de Janeiro, o município de Duque de Caxias, banhado pela Baía de Guanabara, historicamente se tornou uma zona de sacrifício para o desenvolvimento do estado, desde a vinda da Fábrica Nacional de Motores (FNM), a instalação da Refinaria de Duque de Caxias (REDUC), a Fábrica de Borracha Sintética (FABOR), a construção da Fábrica de Produtos Profiláticos, da Rodovia Rio-Petrópolis, da mineração de areia e, finalmente, do aterro Sanitário de Jardim Gramacho - o maior da América Latina (RODRIGUES, 2017). O material lixiviado de aterros sanitários é considerado um dos impactos mais significantes da deposição de resíduos, dada sua complexa composição, e representa um risco de contaminação dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos (FRANCO et al., 2018). Toda essa intervenção antrópica teve consequências drásticas para a região, incluindo o despejo de resíduos e vazamento de petróleo, que contribuíram para a contaminação de lençóis freáticos e poluição da Baía de Guanabara.

De acordo com Meirelles (2018), a Baía de Guanabara possui uma área territorial de 4.017 km², contando com cerca de 55 rios, e com vazão aproximada de 351,48 m³.s⁻¹. Ao total são 16 municípios integrantes da Bacia, sendo 11 integralmente inseridos e 5 parcialmente. O entorno da Baía de Guanabara abriga cerca de 10.000 indústrias, o que corresponde juntamente com o esgoto doméstico o lançamento de 4.800 kg de metais tóxicos por dia (WASSERMAN et al., 2000, citado por MARINHO, 2018). Um dos rios da baía, o rio Estrela, é formado a partir do encontro entre os rios Inhomirim e Saracuruna, abrange os municípios de Magé e Duque de Caxias e desagua no distrito de Mauá (MARINHO et al., 2018). Silva et al. (2018) realizaram um levantamento e observaram que 15 dos 18 metais pesados quantificados na sub-bacia do rio Estrela, bacia hidrográfica de drenagem para a Baía de Guanabara, estavam acima do permitido pela Norma Brasileira 15515 da ABNT e pela resolução nº 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Este trabalho foi considerado como bibliografia base para o presente estudo de caso.

O uso de água pela população, então, apresenta-se como potencial ameaça, já que esta utiliza água possivelmente contaminada para cultivo e irrigação de culturas agrícolas, para consumo próprio e dos animais da região (SILVA et al., 2018). Além disso, os produtos da atividade pesqueira são consumidos quase em sua totalidade localmente, de forma que a pesca possui papel importante na segurança alimentar da região (GUIMARÃES, 2019). A justificativa deste estudo se dá por trazer novas perspectivas em matéria de contaminação por metais pesados e, portanto, contribuir no respaldo de políticas públicas direcionadas para minimizar os efeitos nocivos de metais pesados acumulados para a biodiversidade e para a saúde pública, bem como incentivar a atualização de abordagens técnicas no gerenciamento desses poluentes em corpos hídricos.

Este estudo de caso objetiva atualizar os dados bibliográficos sobre a contaminação de metais pesados na Baía de Guanabara, dado o histórico de contaminação por esses elementos no local, e dados os efeitos deletérios dos metais pesados para a saúde humana e ambiental, confrontando os achados com o estudo-base realizado por Silva et al. (2018).

METODOLOGIA

O método de pesquisa aplicado foi o documental, de natureza qualitativa, através da revisão da literatura. Pesquisas de natureza qualitativa configuram-se como uma alternativa à mensuração da pesquisa quantitativa, já que nem todos os problemas de pesquisa passam por esta abordagem (GUBA et al., 1994; citado por PAIVA JÚNIOR et al., 2007). A revisão realizada no presente estudo de caso configura-se como um intermediário entre a revisão sistemática e a revisão narrativa (ou tradicional), à medida que apresenta uma temática de pesquisa ampla e que não se utiliza de protocolos rígidos para o seu desenvolvimento, tal qual a revisão narrativa; e já que tem a finalidade de selecionar e sintetizar novas contribuições na pesquisa, tal qual a revisão sistemática (PAIVA JÚNIOR et al., 2007).

Os dados foram coletados a partir de plataformas de busca de livre acesso, como *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Google Acadêmico e PubMed, sendo que na última os dados da busca foram relativos aos efeitos nocivos de metais pesados para a saúde humana. O critério de escolha para a seleção dos trabalhos aqui compilados foi realizado com base em um filtro temporal, sendo priorizados trabalhos realizados a partir do ano de 2017, e espacial, sendo selecionados os trabalhos realizados na Baía de Guanabara e seu entorno. A escolha do filtro temporal levou em consideração que o trabalho de Silva et al. (2018) que fundamentou esta pesquisa foi realizado à luz da bibliografia disponível até o ano anterior à sua publicação (2017). A escolha do filtro espacial, por sua vez, se deu a partir dos trabalhos disponíveis nas plataformas de busca de livre acesso, sendo estes referentes ao entorno da Baía de Guanabara.

Nas três plataformas, as palavras-chave utilizadas foram: metais pesados; contaminação por metais pesados; intoxicação por metais pesados; metais pesados em águas subterrâneas RJ; metais pesados na Baía de Guanabara; Rio Estrela. Alguns trabalhos atualizados sobre a contaminação da Baía de Guanabara por metais pesados foram selecionados para este estudo de caso, e em seguida, foi realizada a sobreposição dos novos achados com os dados do trabalho de base realizado por Silva et al. (2018) na sub-bacia do rio Estrela, no estado do Rio de Janeiro.

DISCUSSÃO TEÓRICA

De acordo com Silva et al. (2018), a concentração de chumbo total apresentou valores de dez a quarenta vezes os valores estabelecidos pela legislação, podendo estar associada a fontes de contaminação externa, ao grande tráfego de veículos automotores da rodovia Rio-Magé na área de influência da sub-bacia do rio Estrela, e às instalações hidráulicas da comunidade local. O metal prata (Ag) apresentou concentrações abaixo da resolução CONAMA nº 420/2009, porém, mesmo em baixas concentrações, esse elemento causa impactos negativos na biota do solo, principalmente no ciclo dos nutrientes, sendo um metal de preocupação

global no meio ambiente e de monitoramento obrigatório nos ecossistemas terrestres e aquáticos. Um grupo de elementos traço apresentou concentrações acima da resolução CONAMA nº 420/2009. Esses metais são oriundos, principalmente, de fontes naturais e antrópicas, como no uso agrícola e industrial. Em determinados locais de estudo, os metais cobre e molibdênio (Cu e Mo) apresentaram valores relativos muito elevados, demonstrando que fatores espaciais como distância, geomorfologia e proximidade ao corpo d'água podem influenciar nos resultados.

Leite et al. (2018) realizaram um importante estudo no que diz respeito à determinação da Baía de Guanabara como área prioritária para conservação, com base na análise da ictiofauna local. Foram realizados levantamentos dos registros históricos da ictiofauna da baía, e as espécies encontradas foram analisadas sob a ótica biológica, de importância ecológica e econômica. O trabalho concluiu que mesmo com o elevado nível de degradação ambiental (inclusive pela descarga de metais pesados), a baía pode ser considerada uma área prioritária para a conservação, através das diretrizes estipuladas pela Comissão Nacional da Biodiversidade (CONABIO). Portanto, se observou a urgência de implementação de medidas para a preservação da baía.

Muniz et al. (2020) trouxeram para a literatura novas abordagens acerca de fatores sociais que permeiam a questão da contaminação da Baía de Guanabara. A região mais densamente povoada, conhecida como baixada da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara, é a região que apresenta os piores índices de desenvolvimento humano do Estado do Rio de Janeiro, reflexo das péssimas condições das águas dessa região. A ausência de saneamento básico na região e a existência de pequenos lixões a céu aberto no meio ambiente, propiciam pontos de contaminação e propulsão de chumbo e outros metais, como cobre, cádmio e prata (SILVA et al., 2018).

Silva (2018) propôs um programa para contribuir com a melhoria das condições ambientais das praias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, partindo do êxito obtido no Programa Enseada Limpa, realizado em Niterói, no estado do Rio de Janeiro, e em outros locais do mundo. Isso porque a deterioração nas condições ambientais da região pode impactar, também, atividades de lazer. Considerando que a contaminação da Baía de Guanabara pode tornar a água imprópria para banho, ações são bem-vindas para reverter esse quadro e permitir atividades recreativas. O programa deve envolver setores municipais, empresas públicas, organizações civis, Universidades e o Governo do Estado do Rio de Janeiro. Apesar dos desafios para a consolidação de um modelo de despoluição da Baía, esta mostrou-se possível com a gestão integrada de todos os atores, adaptando as condições de estudo de acordo com as características locais.

Para reduzir as consequências do acúmulo de metais pesados para a saúde humana e ambiental, existem organizações mundiais e nacionais que estabelecem limites de concentrações máximas de metais pesados permitidas. A Organização Mundial da Saúde estabeleceu diretrizes para a qualidade da água potável, fornecendo orientações para a comunidade internacional sobre os padrões locais de componentes químicos, de fonte natural ou antropogênica, que são permitidos na água (WHO, 2011). Em âmbito nacional, destaca-se a NBR 15515 da ABNT e a resolução nº 420/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Aliada a essas implementações legais, se aplica o conceito de química verde, que é definido como o desenho, desenvolvimento e implementação de produtos químicos e processos para reduzir ou eliminar o

uso ou geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente (LENARDÃO et al., 2003, citado por SILVA et al., 2018). No entanto, mesmo as limitações existentes não são suficientes para reduzir a contaminação de metais pesados na água, e apesar dos esforços legais para tal, as concentrações ainda são perigosas para consumo humano e para a sobrevivência da biota.

Nesse sentido, algumas abordagens são possíveis. A redução do aporte externo desses contaminantes, através do tratamento adequado da água e de esgoto nos municípios que pertencem à Região Hidrográfica da Baía de Guanabara se faz essencial. Além disso, esses resíduos perigosos, quando atingem a água, podem ser tratados através de algumas tecnologias já conhecidas, como o transporte no solo, a fitorremediação, a remediação eletrocinética e a solidificação/estabilização (ESTRELA et al., 2018). Pode-se também atuar no biomonitoramento, essencial para avaliar a influência da contaminação ambiental (SOUZA et al., 2018), sendo este definido por Buss et al. (2003) como o uso sistemático das respostas de organismos vivos para avaliar as mudanças ocorridas no ambiente, geralmente causadas por ações antropogênicas.

Uma outra e mais recente possibilidade é o uso de nanopartículas sobre o comportamento químico de metais, como visto por da Silva et al. (2019). De acordo com os autores, a entrada de nanopartículas em compartimentos ambientais pode modificar os mecanismos de absorção dos elementos químicos presentes nestes meios. Os autores realizaram um estudo em microcosmos, simulando as condições naturais da Lagoa de Juturnaíba, manancial de água doce que abastece a Região dos Lagos Fluminense, e observou-se que a introdução da nanopartícula de nanohidroxiapatita (nHAp) teve impacto sobre o comportamento do Zn e Cu, atuando como um captador destes metais e, conseqüentemente, aumentando a precipitação dos complexos formados pela nHAp, Zn e Cu no sedimento. No entanto, acrescentam que pouco se sabe sobre os efeitos em longo prazo de nanopartículas acumuladas no ambiente aquático, sendo necessário mais tempo de estudo para entender os limites seguros dessa metodologia.

Tendo em vista o cenário ainda preocupante de contaminação da Baía de Guanabara, é latente que haja uma mudança de paradigma, norteada por modificações estruturais no modo de produção, de descarte de efluentes industriais e de gestão de resíduos (sólidos ou líquidos). Além disso, o acesso à água tratada e o tratamento de esgoto, que atualmente representam um divisor socioeconômico, são de urgência para toda a sociedade, e não apenas para uma parcela privilegiada. A qualidade da água e a segurança alimentar são um direito de todos e devem ser contemplados nos planos de ação de políticas públicas como tal. Este estudo de caso compilou um pequeno número de trabalhos, comparou metodologias e parâmetros ambientais e socioeconômicos distintos e, por isso, os resultados podem ser afetados. Cabe, então, uma análise aprofundada e detalhada acerca do assunto.

CONCLUSÕES

A partir dos levantamentos realizados, torna-se evidente a que a deterioração dos corpos hídricos da Baía de Guanabara ainda é uma realidade, em resposta à poluição por metais pesados contidos, principalmente, nos resíduos industriais. O presente estudo de caso dá continuidade ao material disponível

na literatura sobre a problemática ambiental da contaminação da Baía de Guanabara, cuja água representa uma fonte de subsistência, biodiversidade e lazer, mas convive com grandes impactos antrópicos. A presença excessiva desses compostos inorgânicos contamina águas superficiais e profundas, afetando todo o ecossistema e a população local, que depende desse recurso para suas atividades rotineiras.

É necessária, portanto, uma abordagem múltipla, desde a redução do aporte externo de água contaminada, o tratamento adequado de efluentes e a remediação de águas subterrâneas já contaminadas, visando a mitigação dos efeitos nocivos dos metais pesados para o ecossistema e para a população que utiliza a água da Baía. Para tal, é necessária a participação do poder público e de empresas privadas, buscando alternativas sustentáveis para o manejo dos resíduos (sólidos ou líquidos) e novas abordagens no tratamento das águas que contaminam os corpos hídricos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15515-2: Passivo ambiental em solo e água subterrânea - Parte 2: Investigação confirmatória**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; BERTON, R. S.. Análise química de solo para metais pesados. In: Alvarez, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M.. **Tópicos em ciência do solo**. 2 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.645-692.
- ASSIS, G.; MATOS, T.; BRONZI, L.. Industrialização e urbanização no município de São Gonçalo/RJ: Uma análise a partir da pesca artesanal na Baía de Guanabara. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, 16. **Anais**. Rio de Janeiro: UFF, 2019.
- BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L.. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.19, n.2, p.465-473, 2003. DOI: <http://doi.org/10.1590/s0102-311x2003000200013>
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C.. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B.; ABREU, C. A.. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.89-124.
- CHIBUIKE, G. U.; OBIORA, S. C.. Heavy metal polluted soils: effect on plants and bioremediation methods. **Applied and Environmental Soil Science**, v.2014, p.1-12, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1155/2014/752708>
- CHITLANGO, A. P.. **Suscetibilidade magnética e cor na predição do fósforo adsorvido e metais pesados em áreas sob transição basalto-arenito**. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2005.
- CHOPRA, A. K.; PATHAK, C.. Accumulation of heavy metals in the vegetables grown in wastewater irrigated areas of Dehradun, India with reference to human health risk. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.187, n.445. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10661-015-4648-6>
- CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n.420 de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: DOU, 2009.
- ESTRELA, M. A.; CHAVES, L. H. G.; SILVA, L. N.. Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados. **Revista Ceuma Perspectivas**, v.31, p.160-172, 2018.
- FRANCO, H. A.; THODE FILHO, S.; PEREZ, D. V.; MARQUES, M. R. C.. Avaliação do potencial de impacto do lixiviado de aterro sanitário sobre organismos aquáticos. **Gaia Scientia**, v.12, n.3, p.109-116, 2018.
- GUBA, E.; LINCOLN, Y.. Competing paradigms in qualitative research. In: DENZIN, N.; LINCOLN, Y.. **Handbook of qualitative research**. Thousand Oaks: Sage Publications, 1994, p.105-117.
- JESUS, A. O. C.. **Avaliação preliminar da poluição do solo e da água subterrânea da área de um lixão desativado**. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.
- LEITE, C. V. T.; LIMA, A. P.; MACIEL, T. R.; SANTOS, S. R. B.; VIANNA, M.. A baía de Guanabara é um ambiente importante para a conservação neotropical? Uma abordagem ictológica. **Diversidade e Gestão**, Rio de Janeiro, v.2, n.2, p.76-89, 2018.
- LENARDÃO, E. J.; FREITAG, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F.; SILVEIRA, C. C.. "Green chemistry": os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v.26, n.1, p.123-129, 2003. DOI: <http://doi.org/10.1590/s0100-40422003000100020>
- MACHADO, I. C.; MAIO, F. D.; KIRA, C. R.; CARVALHO, M. F. H.. Estudo da ocorrência dos metais pesados Pb, Cd, Hg, Cu e Zn na ostra de mangue *Crassostrea brasiliana* do estuário de Cananéia-SP, Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.61,

n.1, p.13-18, 2002.

MANTOVANI, D. M. B.. Contaminantes metálicos em pescado. In: SEMINÁRIO SOBRE CONTROLE DE QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE PESCADOS. **Anais**. Santos: Instituto de Tecnologia de alimentos; Universidade Católica de Santos, 1998.

MARINHO, P. P.. **Estudo da relação mercúrio-matéria orgânica sob efeito de eutrofização em área de manguezal da Baía de Guanabara, RJ**. Monografia (Bacharelado em Química Industrial) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.

MEIRELLES, P. Y. R.. **Análise dos investimentos em esgotamento sanitário na bacia hidrográfica da Baía de Guanabara**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MOURO, V. G. S.; MARTINS, A. L. P.; SILVA, J.; MENEZES, T. P.; GOMES, M. L. M.; OLIVEIRA, J. A.; MELO, F. C. S. A.; MATTA, S. L. P.. Subacute testicular toxicity to cadmium exposure intraperitoneally and orally. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v.2019, p.1-14, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1155/2019/3429635>

MUNIZ, J. S. E.. **Avaliação da variação espacial e temporal da qualidade da água e da acumulação de nutrientes na Baía de Guanabara – RJ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020

PAIVA JÚNIOR, F. G.; LEÃO, A. L. M.; MELLO, S. C. B.. Validade e confiabilidade na pesquisa qualitativa em administração. **Revista de Ciências Da Administração**, v.13, n.31, p.190-290, 2011. DOI: <http://doi.org/10.5007/2175-8077.2011v13n31p190>

PENKOV, M.. Basic procedures for mapping the chemical contamination of Bulgarian soils. In: MAPING OF SOIL AND TERRAIN VULNERABILITY TO SPECIFIED CHEMICAL COMPOUNDS IN EUROPE AT SCALE OF 1:5 M. **Anais**. Amsterdã: Faculty of Hydroengineering, 1991. p.57-60.

RODRIGUES, A. L. T.. Duque de Caxias: novos e velhos desafios em questão. **Revista Brasileira de Geografia Econômica: Espaço e Economia**, Rio de Janeiro, v.10, n.10, 2017. DOI: <http://doi.org/10.4000/espacoeconomia.2717>

SILVA, C. V. V.; ALMEIDA, J. R.; SILVA, C. E.; CARVALHO, L. O.. Levantamiento de metales pesados en el agua subterránea de la subcuenca del rio Estrela, Saracuruna, Rio de Janeiro. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.4, p.1-11, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0001>

SILVA, M. M.; WASSERMAN, M. A. V.; PEREZ, D. V.; WASSERMAN, J. C. F. A.; OLIVEIRA, R. S.; PEREIRA, T. R.;

BARRETO, M. B.; MORAES, L. S. P.; SILVA, G. C.. Avaliação em microcosmo da influência de nanopartículas (hidroxiapatita e PLGA) sobre o comportamento químico de Zn, Cu e Mn em sistema costeiro degradado. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v.7, n.3, p.1-20, 2019. DOI: <http://doi.org/10.15392/bjrs.v7i3.857>

SILVA, M. Q.. **Modelo de gestão ambiental para a Baía de Guanabara a partir das boas práticas do Programa Enseada Limpa**. Dissertação (Especialização em Gestão Pública com ênfase em Governo Local) – Escola Nacional de Administração Pública, Distrito Federal, 2018.

SILVA, M. R. C.. **Estudo de sedimentos da bacia hidrográfica do Moji-Guaçu, com ênfase na determinação dos metais**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SINGH, V. P.. Metal toxicity and tolerance in plants and animals. **Sarup & Sons**, v.4, n.4, p.328, 2005.

SOUZA, A.; MORASSUTI, C.; DEUS, W.. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomédica Brasiliensia**, v.9, n.3, p.95-106, 2018.

SOUZA, V. B.. **Determinação e avaliação de riscos de metais pesados no solo de um “lixão” desativado no Município De Francisco Beltrão, Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

SULE, K.; UMBSAAR, J.; PRENNER, E. J.. Mechanisms of Co, Ni, and Mn toxicity: From exposure and homeostasis to their interactions with and impact on lipids and biomembranes. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes**, v.1862, n.8, p.183-250, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.bbamem.2020.1832>

TEIXEIRA, D.; MOREIRA, I.; COELHO, M.; AMARAL, Y.; CUPERTINO, M.. Exposure to inorganic environmental contaminants and damage to human health. **Brazilian Journal of Health Review**, v.3, n.4, p.10353-10369, 2020.

VARDHAN, K. H.; PONNUSAMY, S. K.; PANDA, R. C.. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. **Journal of Molecular Liquids**, v.290, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111197>

WHO. World Health Organization. **Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum**. Geneva: WHO, 2017.

WONG, W. Y.; THOMAS, C. M.; MERKUS, J. M. W.; ZIELHUIS, G. A.; THEUNISSEN, R. P. S.. Male factor subfertility: possible causes and the impact of nutritional factors. **Fertility and Sterility**, v.75, n.3, p.435-442, 2000. DOI: [http://doi.org/10.1016/s0015-0282\(99\)00551-8](http://doi.org/10.1016/s0015-0282(99)00551-8)

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.