UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA / LAGEMAR
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO
DINÂMICA DOS OCEANOS E DA TERRA

PAULO FERNANDO GARRETA HARKOT

METAIS PESADOS NAS BAÍAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: ANÁLISE CRÍTICA DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL, DAS FONTES POTENCIAIS E CONTRIBUIÇÃO PARA AVANÇOS DOS MARCOS REGULATÓRIOS

NITERÓI
2026

PAULO FERNANDO GARRETA HARKOT

METAIS PESADOS NAS BAÍAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: ANÁLISE CRÍTICA DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL, DAS FONTES POTENCIAIS E CONTRIBUIÇÃO PARA AVANÇOS DOS MARCOS REGULATÓRIOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geociências. Área de concentração: Geologia e Geoquímica.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Baptista Neto

Coorientador: Prof. Dr. Renato Campello Cordeiro

NITERÓI

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia e Geofísica
Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra

Ata de defesa de Tese de Doutorado

Ao(s) vigésimo sétimo dia(s) do mês de Marco de dois mil e vinte e seis, às 15:00h, no Departamento de Geologia e Geofísica, da Universidade Federal Fluminense, reuniu-se a Banca Examinadora designada para arguir a defesa de Tese de Doutorado do(a) aluno(a) **PAULO FERNANDO GARRETA HARKOT** sob o título:

"Metais pesados nas baías do Estado do Rio de Janeiro: uma análise crítica da distribuição espaço-temporal, das fontes potenciais e contribuição para avanços dos marcos regulatórios"

A banca, constituída pelos professores abaixo listados, deliberou pela aprovação do(a) candidato(a) com as seguintes notas e conceito final: A (9,1)

NOME	INSTITUIÇÃO	FUNÇÃO	NOTA
Dr.(a) Jose Antonio Baptista Neto	UFF	Orientador	
Dr (a). Renato Campello Cordeiro	UFF	Coorientador	
Dr (a). Arthur Ayres Neto	PPGDOT-UFF	Arguidor 1	9,0
Dr (a). Eduardo Tavares Paes	UFRA	Arguidor 2	9,5
Dr (a). Francisco Fernando Lamego Simões Filho	ANSN	Arguidor 3	9,0
Dr (a). José Paulo Azevedo	UFRJ	Arguidor 4	9,0
Dr (a). PAULO CESAR COLONNA ROSMAN	UFRJ	Arguidor 5	9,0
	MÉDIA		9,1
	Equivalente ao conceito (ver tabela abaixo)		A

Espaço para comentários adicionais (obrigatório no caso de reprovação):

O candidato deverá fazer as modificações sugeridas pela banca no prazo de 3 (Três) meses. Principalmente em relação a uma adequação do título.

Notas	Conceito
9,0 a 10,0 (nove a dez)	A (Excelente)
7,0 a 8,9 (sete a oito e nove décimos)	B (Bom)
6,0 a 6,9 (seis a seis e nove décimos)	C (Regular)
< 6,0 (menor que seis)	D (Insuficiente)

Para cálculo do conceito, fazer a média das notas dos arguidores e verificar o conceito correspondente

27/03/2026 15:00

Orientador(a):

Documento assinado digitalmente
JOSE ANTONIO BAPTISTA NETO
Data: 07/04/2026 20:35:24-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Coorientador:

Documento assinado digitalmente
RENATO CAMPELLO CORDEIRO
Data: 02/04/2026 19:33:42-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Arguidor 1:

Documento assinado digitalmente
ARTHUR AYRES NETO
Data: 27/03/2026 19:27:01-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Arguidor 2:

Documento assinado digitalmente
EDUARDO TAVARES PAES
Data: 31/03/2026 11:18:43-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Arguidor 3:

Documento assinado digitalmente
FRANCISCO FERNANDO LAMEGO SIMOES FILHO
Data: 31/03/2026 13:26:44-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Arguidor 4:

Documento assinado digitalmente
JOSE PAULO SOARES DE AZEVEDO
Data: 31/03/2026 17:19:32-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Arguidor 5:

Documento assinado digitalmente
PAULO CESAR COLONNA ROSMAN
Data: 01/04/2026 17:32:58-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Candidato:

Documento assinado digitalmente
PAULO FERNANDO GARRETA HARKOT
Data: 08/04/2026 06:46:41-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

H254m Harkot, Paulo Fernando Garreta
Metais pesados nas baías do estado do Rio de Janeiro : Análise crítica da distribuição espaço-temporal, das fontes pontenciais e contribuição para avanços dos marcos regulatóriios / Paulo Fernando Garreta Harkot. - 2026.
567 f.: il.

Orientador: José Antonio Baptista Neto.
Coorientador: Renato Campello Cordeiro.
Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Niterói, 2026.

1. Metais pesados. 2. Análise espaço-temporal de sedimento contaminado. 3. Ecossistemas costeiros. 4. Baía de Guanabara, Baía de Sepetiba e Baía de Ilha Grande. 5. Produção intelectual. I. Baptista Neto, José Antonio, orientador. II. Cordeiro, Renato Campello, coorientador. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Antonio Baptista Neto, e coorientador, Prof. Dr. Renato Campello Cordeiro, pela receptividade às ideias, interesse, apoio, compreensão, estímulo, sugestões, prestatividade e generosidade. Muito obrigado!

A competente equipe do Programa de Pós-Graduação Dinâmica dos Oceanos e da Terra (DOT), na pessoa do Prof. Dr. Arthur Ayres Neto, Maristela Santos Moreira, Larêssa Martins e sempre prestativo pessoal, incluindo os servidores das bibliotecas e setor de informática, pelo apoio e rápido retorno após demandas apresentadas.

Aos ótimos professores que tive a oportunidade de conhecer pessoalmente. Ainda que sinta não ter sido possível conviver durante tempo maior do que as aulas. Bem aos colegas das aulas e trabalhos conjuntos, também com convivência episódica.

Bem como ao Prof. Flávio Luis Seixas, do Instituto de Computação, pelas ótimas sugestões para lidar com conjunto de dados. Uma “universidade” é ótima! Universidade pública, então, não há adjetivo para descrever sua importância para a sociedade e para aqueles que buscam informações e conhecimento.

Aos membros da banca de defesa da tese, pelas observações, críticas e sugestões, sem as quais esta tese não teria a presente configuração. O mérito decorre dessas sugestões e trabalho conjunto. As falhas, apenas a mim.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de pesquisa a mim assegurada.

Ao Dr. David Robert, pelas discussões e indicação de bibliografia a respeito do impacto dos metais pesados na saúde humana.

A Flavio Lyra pelas ótimas discussões a respeito do registro, análise e resgate de informações em bancos de dados. E, principalmente, pela sugestão e dedicação em montar banco de dados em PostgreSQL. É chegada a hora de fazê-lo funcionar.

A Luis Gustavo Sinastre e Rivelle Rivetria Santos pelo apoio à identificação, download dos dados das pessoas jurídicas de interesse e posterior manuseio e integração das informações no Quantum GIS (QGIS) para análises espaciais e mapas decorrentes.

À Prof.ª Dra. Carmen Froés, pelas discussões a respeito de saúde pública, coletiva e riscos decorrentes da contaminação, inclusive por metais pesados, na Baía de Guanabara. E a Alexandre Asmus por possibilitar nosso encontro.

Aos Professores Ivo Giolito *in memoriam*, Haroldo Erwin Asmus *in memoriam*, Clerenio Rosas Azevedo e Maria Regina Alves Cardoso, minha orientadora do mestrado. O caleidoscópio montado e as imagens vislumbradas não podem ser dissociados da participação de vocês. Serei sempre muito grato!

Ao Dr. Viinicus Vogel e Dr. Mauricio Cerda, equipe do Projeto Microplástico MoNa Cagarras, pelas discussões, aprendizados e aprimoramento das ideias. A Regina do Couto, Dra. Maria Teresa de Jesus Gouveia e Izidro Paes Leme Arthou, com quem tanto aprendi a respeito de recursos hídricos e, particularmente, o Comitê de Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara (CBH-BG), incluindo aferição do rumo na tese. Ao Dr. Jonathas Magalhães Pereira da Silva, pelas discussões e sugestões. E à Dra. Silvia Maria Sartor pela presença, mesmo que à distância.

Aos meus familiares que me antecederam e escolheram o Brasil para se radicar. Bem como aos meus pais, pelo apoio, e à minha mãe por me estimular a ler, mesmo sem ter a oportunidade de fazê-lo.

Fabio Kohler Harkot, meu filho, pelo apoio nos meios flutuantes, navegação, meteorologia prática e marinharia. A sucuri, mesmo com escamas invertidas, foi parida!

Gabriel Penna Rey Garreta Harkot, meu filho, pelo continuado estímulo. E a Pedro Lange Harkot e Miguel Lange Harkot, meus netos, que me estimularam a desenvolver o presente trabalho com o olhar na geração deles. Bem como sucedâneas justificando foco e objetivos intergeracionais.

Marina Kohler Harkot *in memoriam*, por ser quem foi, pelos exemplos e estímulos que deixou. Continuamos a jornada, cada qual na sua frequência, buscando contribuir para um mundo melhor.

À Prof.ª Dra. Elza Hartmann Uberti, pela laboriosa e competente revisão, observações e sugestões, dentre as quais se inclui o Glossário apresentado no Apêndice 8.5. Sem palavras para agradecê-la!

Ao Sci-Hub por democratizar e socializar o acesso às informações e ao conhecimento.

A Eliane Carlman, por auxiliar na identificação e ajustes de rumo, mesmo durante nevoeiros. Muito obrigado!

À minha querida irmã, Elizabeth Harkot de La Taille, pelas discussões, leitura atenta e revisão parcial do texto, sugestões e constante estímulo e apoio. Sou muito grato por ter uma irmã como você, Beth!

Por derradeiro, meu agradecimento mais profundo e amoroso a Suzie Hartmann Lontra, minha amada companheira que, desde nosso reencontro, tornou-se minha maior apoiadora para a conclusão desta tese, presenteando-me, inclusive, com mudança de casa e lar para assegurar melhores condições de trabalho. Além de atenção e carinho sem limites que tanto me encantam e tão bem me fazem, incluo seu apoio por meio da acurada revisão e conversas semânticas a respeito do sentido de palavras e frases no texto. Com a conclusão desta etapa, damos seguimento à materialização dos nossos projetos de vida que caminham juntos, para poder retribuir todo o amor e bem-estar que tem me proporcionado. Te amo!

Não é sua obrigação completar uma tarefa
Nem é livre para desistir dela

Tikkun Olam
Sobre como melhorar o mundo

RESUMO

Metais pesados, ou metais-traço, são elementos metálicos presentes na crosta terrestre em pequenas concentrações e ampla variabilidade espacial. Essenciais, em doses diminutas, às funções bioquímicas e fisiológicas de plantas, animais e seres humanos, tornam-se tóxicos quando excedido tênue limiar, acumulando-se e magnificando-se nos organismos com consequências genotóxicas, carcinogênicas, mutagênicas e/ou teratogênicas. As fontes podem ser autogênicas — intemperismo, lixiviação e vulcanismo — e antropogênicas — atividades humanas que se iniciaram com o uso do fogo em ambientes confinados pelos antepassados —, configurando-se, na atualidade, como a principal via de introdução de metais pesados no meio. Buscando esclarecer esse tema, a presente contribuição objetivou analisar a contaminação do sedimento de fundo baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande, Rio de Janeiro, por metais pesados — cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), manganês (Mn), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) — a partir de dados secundários. Bem como relacioná-las com as características ambientais e instrumentos legais, normativos e institucionais disponíveis. O banco de dados foi complementado a partir de 91 artigos científicos (Scopus e PubMed), dissertações, teses e relatórios técnicos de instituições afins. Os registros de amostras cobrem 1.536 pontos de coleta com 9.833 analitos mensurados e georreferenciados em projeção UTM, datum SIRGAS 2000. As fontes antropogênicas foram identificadas na bibliografia e, dada a insuficiência de informações, na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), seguido de consulta à base da Receita Federal e geocodificação dos estabelecimentos nas bacias hidrográficas. A caracterização das regiões hidrográficas identificou como fontes difusas a ocupação urbana, deficiência de saneamento, transporte e drenagem, agropecuária e mineração, nas áreas emersas; portos, terminais, navegação, estaleiros, marinas, pesca e dragagem, no espelho d'água. Indústrias, serviços, emissários submarinos e canais de drenagem constituíram os principais focos pontuais em terra. A avaliação espacial utilizou cartogramas para cada metal e baía, enquanto a temporal, gráficos box plot para a série histórica. Os resultados indicaram que Guanabara e Sepetiba concentram o maior número de registros históricos, com destaque para chumbo, zinco, cobre e cádmio, enquanto Ilha Grande apresenta alguns valores elevados ante a aparentemente reduzida pressão antropogênica. A análise do arcabouço legal demonstrou que esse tema não recebe atenção nos processos de licenciamento e monitoramento ambiental — incluindo a ausência de setores econômicos importantes e atividades realizadas na água —, corroborado pela inexistência de monitoramento sistemático do sedimento de fundo nas baías estudadas. A Câmara Técnica Costeira (CTCost) dos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs), pode suprir essa lacuna do executivo, consoante as obrigações do Brasil como signatário da Convenção Ramsar. Registrando-se, ainda, a necessidade de monitoramento costeiro da água, sedimento e biota (Lei n° 7.661/1988); do fortalecimento do arcabouço legal, institucional e operacional dos executivos; além da sensibilização da sociedade para a seriedade desse premente problema.

Palavras-chave: metais pesados**,** análise espaço-temporal de sedimento contaminado, atividades econômicas, saúde pública, ecossistemas e gestão costeira, Baía de Guanabara, Baía de Sepetiba, Baía de Ilha Grande.

ABSTRACT

Heavy metals, or trace metals, are metallic elements present in the Earth's crust in small concentrations and with wide spatial variability. Although essential in tiny doses for the biochemical and physiological functions of plants, animals, and humans, they become toxic when a slight threshold is exceeded, accumulating and magnifying in organisms with genotoxic, carcinogenic, mutagenic, and/or teratogenic consequences. Sources can be autogenic—weathering, leaching, and volcanism—and anthropogenic—human activities that began with the use of fire in confined environments by our ancestors—and currently constitute the primary route of heavy metal introduction into the environment. Seeking to shed light on this topic, this study aimed to analyze heavy metal contamination in the bottom sediments of Guanabara Bay, Sepetiba, and Ilha Grande, Rio de Janeiro—by heavy metals—cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), and zinc (Zn)—based on secondary data. It also sought to relate these findings to environmental characteristics and the available legal, regulatory, and institutional frameworks. The database was supplemented using 91 scientific articles (Scopus and PubMed), dissertations, theses, and technical reports from related institutions. The sample records cover 1,536 collection points with 9,833 analytes measured and georeferenced in UTM projection, SIRGAS 2000 datum. Anthropogenic sources were inventoried based on the National Classification of Economic Activities (CNAE), consultation of the Federal Tax Authority database, and geocoding of establishments within the watersheds. The characterization of the hydrographic regions identified the following as diffuse sources: urban development, inadequate sanitation, transportation and drainage, agriculture and livestock, and mining in terrestrial areas; and ports, terminals, shipping, shipyards, marinas, fishing, and dredging in water bodies. Industries, services, submarine outfalls, and drainage channels constituted the main point sources on land. The spatial analysis used cartograms for each metal and bay, while the temporal analysis used box plots for the historical time series. The results indicated that Guanabara and Sepetiba account for the largest number of historical records, particularly for lead, zinc, copper, and cadmium, while Ilha Grande —which is less impacted—exhibits high values despite apparently reduced anthropogenic pressure. An analysis of the legal framework demonstrated that this issue receives no attention in environmental licensing and monitoring processes—including the exclusion of important economic sectors, such as activities conducted on the water—a finding corroborated by the lack of systematic monitoring of bottom sediments in the bays studied. The Coastal Technical Chamber (CTCost) of the River Basin Committees (CBHs) can address this gap in the executive branch, in accordance with Brazil's obligations as a signatory to the Ramsar Convention. It should also be noted that there is a need for coastal monitoring of water, sediment, and biota (Law No. 7,661/1988); for strengthening the legal, institutional, and operational framework of government agencies; and for raising public awareness of the importance of this issue.

Keywords: heavy metals, spatiotemporal analysis of contaminated sediment, economic activities, public health, ecosystems and coastal management, Guanabara Bay, Sepetiba Bay, Ilha Grande Bay.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....45
2. OBJETIVOS.....48
2.1. Objetivo geral.....48
2.2. Objetivos específicos.....48
3. MÉTODO DE TRABALHO.....49
3.1. Atualização do banco de dados “Metais pesados no sedimento das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande”.....49
3.2. Caracterização das regiões hidrográficas: V - Baía de Guanabara, II - Guandu/Baía de Sepetiba e I - Baía de Ilha Grande sob perspectivas ambiental e socioeconômica.....52
3.3. Identificação das principais fontes antropogênicas com potencial de aportar metais pesados nas regiões hidrográficas e baías.....55
3.3.1. Triagem e Classificação de Atividades Econômicas (CNAE e CNPJ).....55
3.3.2. Elaboração de mapas temáticos e análise geoespacial.....56
3.3.3. Procedimentos adicionais adotados para atenuação das imprecisões no mapeamento realizado.....57
3.4. Avaliação da variabilidade espaço-temporal das concentrações dos metais pesados no sedimento das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.....58
3.4.1. Análise espacial.....58
3.4.2. Análise temporal.....60
3.4.3. Integração espaço-temporal.....61
3.5. Descrição dos instrumentos legais focados na introdução e controle de metais pesados no sedimento das baías fluminenses com vistas ao aprimoramento de políticas públicas.....61
3.5.1. Procedimentos metodológicos e fontes documentais.....62
3.5.2. Procedimentos para análise.....63
4. RESULTADOS.....65
4.1. Metais pesados no sedimento de fundo de ambientes costeiros.....65
4.1.1. Fontes autogênicas de metais pesados.....66
4.1.2. Fontes antropogênicas de metais pesados.....69
4.1.3. Modos de introdução de metais pesados no meio.....76
4.1.4. Metais pesados considerados no presente estudo.....78
4.1.4.1. Arsênio - As.....79
4.1.4.2. Cádmio – Cd.....80
4.1.4.3. Chumbo - Pb.....81
4.1.4.4. Cobre - Cu.....82
4.1.4.5. Cromo – Cr.....83
4.1.4.6. Manganês – Mn.....84
4.1.4.7. Mercúrio – Hg.....85
4.1.4.8. Níquel – Ni.....87
4.1.4.9. Zinco – Zn.....89
4.1.5. Metais pesados e os seres vivos.....90
4.1.6. Metais pesados, seres humanos e saúde pública.....93
4.1.7. Sedimentos de regiões costeiras como indicadores de contaminação por metais pesados.....100

4.2. Principais características e fontes autogênicas de metais pesados nas regiões hidrográficas e baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.....105
4.2.1. Caracterização regional.....105
4.2.1.1. Geologia.....112
4.2.1.2. Geomorfologia.....115
4.2.1.3. Clima.....125
4.2.1.4. Comportamento hídrico.....136
4.2.1.5. Solos.....136
4.2.1.6. Região costeira e oceânica adjacente.....139
4.2.1.6.1. Oceanografia regional.....139
4.2.1.6.2. Variação do nível relativo do mar.....142
4.2.1.7. Ecossistemas costeiros.....144
4.2.2. Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara.....148
4.2.2.1. Principais características da Baía de Guanabara e bacia de drenagem.....148
4.2.2.2. Aspectos oceanográficos e sedimentológicos.....154
4.2.3. Região Hidrográfica II – Guandu e Baía de Sepetiba.....162
4.2.3.1. Principais características da Baía de Sepetiba e bacia de drenagem 162
4.2.3.2. Aspectos oceanográficos e sedimentológicos.....168
4.2.4. Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande.....177
4.2.4.1. Principais características da Baía de Ilha Grande e bacia de drenagem.....177
4.2.4.2. Aspectos oceanográficos e sedimentológicos.....184
4.3. Atividades antropogênicas e qualidade ambiental nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande 196
4.3.1. Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara.....196
4.3.1.1. Histórico da ocupação e características populacionais.....196
4.3.1.2. Cobertura e uso da terra.....199
4.3.1.3. Atividades realizadas no espelho d'água da Baía de Guanabara. .207
4.3.1.4. Indicadores de poluição e contaminação ambiental.....213
4.3.1.5. Síntese da Região Hidrográfica V e Baía de Guanabara.....217
4.3.1.6. Atividades potencialmente introdutoras de metais pesados na RH V – Baía de Guanabara.....221
4.3.2. Região Hidrográfica II – Guandu/Baía de Sepetiba.....222
4.3.2.1. Histórico da ocupação e características populacionais.....222
4.3.2.2. Cobertura e uso da terra.....227
4.3.2.3. Atividades realizadas no espelho d'água da Baía de Sepetiba.....233
4.3.2.4. Indicadores de poluição e contaminação ambiental.....234
4.3.2.5. Síntese da Região Hidrográfica II – Guandu e Baía de Sepetiba. .239
4.3.2.6. Atividades potencialmente introdutoras de metais pesados na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....239
4.3.3. Região Hidrográfica I - Baía de Ilha Grande.....241
4.3.3.1. Histórico da ocupação e características populacionais.....241
4.3.3.2. Cobertura e uso da terra.....244
4.3.3.3. Atividades realizadas no espelho d'água da Baía de Ilha Grande. 247
4.3.3.4. Indicadores de poluição e contaminação ambiental.....251

4.3.3.5. Atividades potencialmente introdutoras de metais pesados na RH I – Baía de Ilha Grande....254
4.4. Atividades antropogênicas introdutoras de metais pesados nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande....255
4.4.1. Atividades econômicas na região de estudo com potencial para introduzir metais pesados no meio: quem sabe quais são e onde estão?....256
4.4.2. Atividades econômicas introdutoras de metais pesados nas baías fluminenses....262
4.4.3. Fontes de metais pesados decorrentes de atividades humanas realizadas em terra....275
4.4.4. Fontes de metais pesados decorrentes de atividades humanas realizadas na água....278
4.5. Avaliação espaço-temporal dos metais pesados no sedimento de fundo das três baías fluminenses entre 1980 e 2022....279
4.5.1. Atualização do banco de dados....279
4.5.1.1. Inventário da bibliografia....279
4.5.2. Ampliação e atualização do banco de dados....280
4.5.2.1. Estrutura do banco de dados atualizado....282
4.5.3. Síntese das informações a respeito do banco de dados geoquímicos atualizado para as baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande....285
4.5.3.1. Baía de Guanabara - amostras coletadas entre 1980 e 2002....285
4.5.3.2. Baía de Sepetiba – amostras coletadas entre 1980 e 2022....288
4.5.3.3. Baía de Ilha Grande – amostras coletadas entre 2001 e 2013....292
4.5.4. Análise espaço-temporal da concentração de metais pesados no sedimento de fundo das baías fluminenses....295
4.5.4.1. Cádmio (Cd)....297
4.5.4.2. Chumbo (Pb)....300
4.5.4.3. Cromo (Cr)....303
4.5.4.4. Cobre (Cu)....306
4.5.4.5. Mercúrio (Hg)....309
4.5.4.6. Níquel (Ni)....312
4.5.4.7. Zinco (Zn)....315
4.6. Instrumentos legais, contenção e remediação de passivos relacionados aos metais pesados no sedimento de fundo na região costeira fluminense....318
4.6.1. Introdução: por que a gestão ambiental precisa desses dados....318
4.6.2. Políticas públicas para a manutenção da qualidade ambiental da região costeira....319
4.6.2.1. Antecedentes....319
4.6.2.2. Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM)....322
4.6.2.3. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) e Projeto Orla 325
4.6.3. Políticas públicas para manutenção da qualidade dos recursos hídricos 328
4.6.3.1. Antecedentes....328
4.6.3.2. Esfera Federal....330
4.6.3.2.1. Política Nacional dos Recursos Hídricos – PNRH....330

4.6.3.3. Esfera estadual.....331
4.6.3.3.1. Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (PERH-RJ).....331
4.6.3.3.2. Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH).....332
4.6.3.3.3. Subcomitês de Bacias Hidrográficas.....332
4.6.3.3.4. Plano de Bacia Hidrográfica ou Plano de Recursos Hídricos. 333
4.6.3.3.5. Regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.....334
4.6.3.3.6. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP).....334
4.6.3.3.7. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais.....335
4.6.4. Instrumentos reguladores de atividades antropogênicas introdutoras de metais pesados na região costeira do Rio de Janeiro.....336
4.6.4.1. Esfera Federal.....336
4.6.4.2. Esfera estadual.....340
4.6.4.2.1. Licenciamento ambiental de atividades econômicas no Estado do Rio de Janeiro.....341
4.6.5. Câmara Técnica Costeira como locus de integração dos recursos hídricos e gestão costeira.....343
5. DISCUSSÃO.....349
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....362
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....369
8. APÊNDICES.....398
8.1. Apêndice 1 - Autores, títulos, ano de publicação e disponibilidade do documento na rede do banco de dados inicial.....398
8.2. Apêndice 2 - Atividades econômicas realizadas nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande…405
8.2.1. Seção A - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura 405
8.2.1.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas nas Divisões da Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura. 407
8.2.1.2. Atividades desenvolvidas em terra – Agricultura e pecuária.....407
8.2.1.3. Atividades desenvolvidas no substrato e espelho d’água – Pesca e maricultura.....409
8.2.1.4. Resumo dos metais pesados introduzidos por intermédio das principais atividades econômicas ligadas à Seção A.....410
8.2.2. Seção B - Indústrias Extrativas.....412
8.2.2.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas nas Divisões da Seção B - Indústrias Extrativas.....414
8.2.2.2. Atividades desenvolvidas em terra/área emersa.....414
8.2.2.3. Atividades desenvolvidas no substrato e espelho d’água/ambiente aquático.....415
8.2.2.4. Síntese dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção B – Indústrias Extrativas.....416
8.2.3. Seção C – Indústrias de Transformação.....418
8.2.3.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas nas Divisões da Seção C – Indústrias de Transformação.....421
8.2.3.2. Atividades desenvolvidas em terra, área emersa.....421

8.2.3.3. Síntese dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades da Seção C – Indústria de Transformação.....424
8.2.4. Seção D – Eletricidade e Gás.....425
8.2.4.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas na Divisão 35 da Seção E – Eletricidade e Gás.....427
8.2.4.2. Síntese dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção D - Eletricidade e Gás.....428
8.2.5. Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação.....430
8.2.5.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas nas Divisões da Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação.....434
8.2.5.2. Serviço público de abastecimento e distribuição de água.....435
8.2.5.3. Serviço público de esgotamento sanitário.....436
8.2.5.3.1. Emissários submarinos.....439
8.2.5.4. Serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; 440
8.2.5.4.1. Atividades desenvolvidas em terra.....440
8.2.5.4.2. Atividades realizadas na água.....443
8.2.5.5. Serviço público de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas 444
8.2.5.6. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção E - Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação.....446
8.2.6. Seção F - Construção.....448
8.2.6.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção F – Construção 450
8.2.6.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção F - Construção.....451
8.2.7. Seção G - Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas 453
8.2.7.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção G – Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas.....456
8.2.7.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção G - Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas.....457
8.2.8. Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio.....459
8.2.8.1. Síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio.....462
8.2.8.2. Transporte terrestre.....462
8.2.8.3. Transporte aquaviário.....464
8.2.8.3.1. Fundeadouro de embarcações de apoio à cadeia de óleo e gás, pesca industrial e artesanal.....467
8.2.8.3.2. Dragagem de canais, disposição do dragado e mineração do substrato.....468

8.2.8.3.3. Embarcações soçobradas.....468
8.2.8.3.4. Marinas e garagens náuticas para apoio a embarcações de esporte e recreio.....469
8.2.8.4. Transporte aéreo.....471
8.2.8.5. Armazenamento, carga, descarga e atividades auxiliares dos transportes.....471
8.2.8.5.1. Estacionamento de veículos.....472
8.2.8.6. Atividades auxiliares, gestão de portos e terminais de cargas para o transporte aquaviário.....472
8.2.8.7. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção H – Transporte, Armazenagem e Correio.....473
8.2.9. Seção J - Informação e Comunicação.....475
8.2.9.1. Síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção J – Informação e Comunicação.....477
8.2.9.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção J - Informação e Comunicação.....477
8.2.10. Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas.....479
8.2.10.1. Síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção M – Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas.....482
8.2.10.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas.....482
8.2.11. Seção N – Atividades Administrativas e Serviços Complementares....484
8.2.12. Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social.....485
8.2.12.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social.....487
8.2.12.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social.....487
8.2.13. Seção P – Educação.....489
8.2.13.1. Síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção P – Educação 491
8.2.13.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção P – Educação.....491
8.2.14. Seção Q – Saúde Humana e Serviços Sociais.....493
8.2.14.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção Q – Saúde Humana e Serviços Sociais.....496
8.2.14.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção Q – Saúde Humana e Serviços Sociais. 496
8.2.15. Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação.....498
8.2.15.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção R – Artes,

Cultura, Esporte e Recreação.....500
8.2.15.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação 500
8.2.16. Seção S – Outras Atividades de Serviços.....502
8.2.16.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção S – Outras Atividades de Serviços.....504
8.2.16.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção S – Outras Atividades de Serviços.....504
8.3. Apêndice 3 - Mapas com pontos de coleta e gráficos box plots para avaliação e comparação do comportamento espaço-temporal da concentração de metais pesados no sedimento de fundo das baías estudadas.....506
8.4. Apêndice 4 – Complemento das políticas públicas incidentes na região costeira, baías fluminenses e recursos hídricos.....513
8.4.1. Região costeira e baías fluminenses.....513
8.4.1.1. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), 1988.....513
8.4.1.2. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC – atualização em 1997 e 2004.....515
8.4.1.3. Projeto Orla.....519
8.4.2. Recursos hídricos.....520
8.4.2.1. Antecedentes da Política Nacional dos Recursos Hídricos – PNRH 524
8.4.2.2. Esfera estadual.....526
8.4.2.2.1. Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (PERH-RJ).....526
8.4.2.2.2. Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH).....528
8.4.2.2.3. Subcomitês de Bacias Hidrográficas.....529
8.4.2.2.4. Plano de Bacia Hidrográfica ou Plano de Recursos Hídricos. 530
8.4.3. Instrumentos reguladores de atividades antropogênicas com potencial de introduzir metais pesados na região costeira do Rio de Janeiro.....533
8.4.3.1. Esfera Federal.....533
8.4.3.2. Esfera estadual – histórico e antecedentes.....542
8.4.4. Câmara Técnica Costeira (CTCost) instituída no CBH-BG,.....547
8.5. Apêndice 5 – Glossário técnico.....548

Lista de Figuras

Figura 1. Desenho esquemático demonstrando os principais agentes e fluxos autogênicos de metais pesados no ambiente. Fonte: (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).....47
Figura 2. Produção de cobre ao longo dos últimos 5.000 anos, reconstruída a partir de análises químicas do gelo em diferentes profundidades presente na Groenlândia, com a literatura disponível. Fonte: Hong et al. (1996).....70
Figura 3. Comportamento da produção e emissão antropogênica de alguns metais pesados - Pb, Cu e Zn – na atmosfera, entre 1850 e 1990. Fonte: Nriagu (1996).…71
Figura 4. Estresse oxidativo e toxicidade orgânica em decorrência da exposição a metais pesados. Fonte: adaptado de Balali-Mood et al. (2021).....96
Figura 5. Reação de uma célula à exposição a metais pesados e balanço entre a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e subsequente defesa decorrente da ação de antioxidantes, podendo levar à apoptose ou morte celular. Fonte: adaptado de Jaishankar et al. (2014).....97
Figura 6. Regiões hidrográficas do território fluminense, de acordo com a Res. CERHI n° 107/2013. Fonte: Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014).....106
Figura 7. Limites e áreas abarcadas pelas regiões hidrográficas e regiões de governo do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014a).....107
Figura 8. Limites das regiões hidrográficas (RHs) V – Baía de Guanabara, II – Guandu/ Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, apresentando gradiente de altitude. Fonte: NASA/SRTM/IBGE, citados por Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014).....108
Figura 9. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) da Região Hidrográfica V - Baía de Ilha Grande. Fonte: Coimbra et al. (2021).....110
Figura 10. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) da Região Hidrográfica II – Guandu e Baía de Sepetiba. Fonte: PROFILL Engenharia (2017).....111
Figura 11. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) da Região Hidrográfica I - Baía de Ilha Grande. Fonte: PRH-BIG (2019).....111
Figura 12. 1) Riftes e coberturas cenozoicos; (2) Rochas alcalinas do Cretáceo e Paleógeno; (3) Nappes inferiores; (4) Nappes superiores; (5) Embasamento do CSF e Domínio Autóctone; (6) Supergrupo São Francisco; (7) Metassedimentos do Domínio Autóctone; (8) e (9) Terreno Ocidental (TOC); (Domínios Andrelândia e Juiz de Fora); (10) Klippe Paraíba do Sul; (11) Terreno Oriental (TOR); (12) Granitoides do Arco Magmático Rio Negro; (13) Terreno Cabo Frio (TCF); (14) Terrenos São Roque e Açungui; (15) Terreno Embu; Central Tectonic Boundary (CTB). Fonte: AGEVAP; CBH-BG (2020a).....113
Figura 13. Domínios tectonomagmáticos do estado do Rio de Janeiro e, no interior do perímetro na cor vermelha, a área de interesse. Fonte: adaptado de CPRM (2001),.....114
Figura 14. Recorte, com a área de estudo assinalada no quadro com cor vermelha, do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: adaptado de Silva et al. (2001).....116
Figura 15. Mapa de gradiente de altitude do estado do Rio de Janeiro e das nove

regiões hidrográficas. Fonte: Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014a).....118
Figura 16. Relevo e principais características geomorfológicas das RHs V, II e I. Fonte: adaptado de Bastos e Napoleão (2011).....118
Figura 17. Mapa de Unidades Geomorfológicas da região de interesse, RHs V, II e I. Fonte: extraído do Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro, Dantas (2000).....121
Figura 18. Recorte, com a área de estudo assinalada no quadro com cor vermelha, do Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: adaptado de Dantas et al. (2000).....123
Figura 19. Clima no estado do Rio de Janeiro. Fonte: IBGE (2002), citado por Fundação COPPETEC/Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014a).....126
Figura 20. Isoietas das chuvas médias anuais no estado do Rio de Janeiro e, limitadas pelo quadro na cor vermelha, as RHs V, II e I, objeto de interesse. Fonte: CPRM (2002), citado por Fundação COPPETEC/Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014).....128
Figura 21. Distribuição das classes de chuva média em janeiro, mês chuvoso, nas regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e, no quadro vermelho, as RHs V, II e I. Fonte: (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014).....128
Figura 22. Distribuição das classes de chuva média em agosto, estiagem, nas regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e, no quadro vermelho, as RHs V, II e I. Fonte: (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014).....129
Figura 23. Temperatura média anual na RH V – Baía de Guanabara. Fonte: Bastos; Napoleão, 2011).....129
Figura 24. Temperatura média anual no verão, à esquerda, e inverno, à direita, no estado do Rio de Janeiro. Fonte: Bastos e Napoleão (2011).....130
Figura 25. Normal climatológica (1961-1990) de precipitação média mensal de estações presentes no entorno da Baía de Guanabara. Fonte: INMET, elaborado por Carla M. Salgado e citado por Salgado; Oliveira; Armond (2021).....130
Figura 26. Temperatura máxima média anual, média das temperaturas máximas anuais e linha de tendência para a RH II. Fonte: INMET, citado por PERH Guandu (2017).....132
Figura 27. Temperatura mínima média anual, média das temperaturas mínimas anuais e linha de tendência para a RH II. Fonte: INMET, citado por PERH Guandu (2017).....132
Figura 28. Precipitação acumulada média anual, média dos acumulados anuais e tendência para a RH II. Fonte: INMET, citado por PERH Guandu (2017).....133
Figura 29. Temperaturas médias históricas mensais em Paraty, na estação meteorológica 86913. Fonte: INMET (2018), citado por PRH-BIG (2019).....133
Figura 30. Temperaturas médias históricas mensais em Angra dos Reis, na estação meteorológica 83788. Fonte: INMET (2018), citado por PRH-BIG (2019).....134
Figura 31. Precipitações médias mensais em estações pluviométricas na RH I – BIG. Fonte: ANA (2018), citada por PRH-BIG (2019).....135
Figura 32. Precipitação média anual na RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: adaptado de PRH-BIG (2019).....135
Figura 33. Tipos de solo nas regiões hidrográficas V - Baía de Guanabara, II –

Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, circunscritas pelo retângulo na cor vermelha. Fonte: adaptado de Carvalho Filho; José Francisco Lumbreras; Santos (2000).....138
Figura 34. Diagrama da estrutura oceanográfica da região Sudeste-Sul na época de verão, elaborado por meio das informações anteriores e dados obtidos por Matsuura (1986).....141
Figura 35. Diagrama esquemático da distribuição vertical das massas d'água no inverno e verão na região Sudeste-Sul. Fonte: Matsuura (1986).....142
Figura 36. Curva de flutuações do nível relativo do mar de 7.000 anos AP, construída por meio de diversos indicadores geológicos, biológicos e pré-históricos, para a região da Baía de Ilha Grande. Fonte: Martin; Suguio; Flexor (1993).....143
Figura 37. Alvos para a conservação da biodiversidade na zona costeira na área de estudo. Fonte: (MMA, 2007).....145
Figura 38. Frequência de ocorrência de feições costeiras no estado do Rio de Janeiro. Fonte: Gherardi (2007).....147
Figura 39. Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara, bacias hidrográficas e coleções hídricas assinaladas na cor azul. Fonte: (AGEVAP, 2020).....149
Figura 40. Vista da Baía de Guanabara e região de entorno.....150
Figura 41. Carta náutica 1501 da Baía de Guanabara com detalhes da batimetria, ilhas e acidentes geográficos. Fonte: DHN (2006).....151
Figura 42. Hidrografia da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara. Fonte: (AGEVAP, 2020).....152
Figura 43. Sub-bacias e hidrografia da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara. Fonte: Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil (2015).....153
Figura 44. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara. Fonte: Coimbra et al. (2021).....154
Figura 45. Batimetria e localização da foz dos principais tributários da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara. Fonte: Rosman (2017).....155
Figura 46. Curva de aporte de água doce na Baía de Guanabara. Fonte: Kjerfve et al. (1997), citados por Rosman et al. (Rosman et al., 2017).....156
Figura 47. Simulação para série temporal de maré meteorológica, astronômica e resultante da interação de ambas para o mês de janeiro de 2016, com cotas relativas ao nível médio de maré, à qual deve-se somar 0,7 m em relação ao nível de referência adotado na modelagem correspondente ao NR da CN-1501 da DHN. Fonte: (Rosman et al., 2017).....157
Figura 48. Simulação para série temporal de maré meteorológica, astronômica e resultante da interação de ambas para o mês de julho de 2016, com cotas relativas ao nível médio de maré, à qual deve-se somar 0,7 m em relação ao nível de referência adotado na modelagem correspondente ao NR da CN-1501 da DHN. Fonte: (Rosman et al., 2017).....157
Figura 49. Divisão hidrológica da Baia de Guanabara. Fonte: adaptado de Mayr et al., 1989, por Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015.....159
Figura 50. Características sedimentológicas do substrato a partir do diâmetro médio das partículas em amostras de sedimento na Baía de Guanabara. Fonte: Fonseca; Neto; Pompermayer (2021).....161
Figura 51. Região Hidrográfica II – Guandu e Baía de Sepetiba, bacias hidrográficas e coleções hídricas assinaladas na cor azul no contexto do estado do Rio de Janeiro

e demais regiões hidrográficas. Fonte: AGEVAP (2020).....162
Figura 52. Carta náutica 1620 da Baía de Sepetiba, com detalhes da batimetria, ilhas e acidentes geográficos. Fonte: DHN (1986).....163
Figura 53. Vista da Baía de Sepetiba e parte da área de drenagem, com destaque para a intensa ocupação urbana na porção leste da RH II – Guandu. Fonte: Google Earth.....163
Figura 54. Modelo Digital de Elevação do Terreno gerado a partir da base cartográfica 1:25.000 do IBGE para RH II e entorno. Fonte: PROFILL Engenharia (2017a).....164
Figura 55. Hidrografia da Região Hidrográfica II – Guandu. Fonte: AGEVAP (2020). 165
Figura 56. Rios, bacias hidrográficas e Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) na RH II – Guandu. Fonte: PROFIL Engenharia (2017a).....166
Figura 57. Topografia de fundo da Baía de Sepetiba. Fonte: Cunha; Rosman; Monteiro (2001).....169
Figura 58. Relevo de fundo e batimetria da Baía de Sepetiba. Fonte: Villena et al. (2012).....170
Figura 59. Distribuição textural do sedimento superficial da Baía de Sepetiba. Fonte: adaptado de Pereira et al. (2003) por Villena et al. (2012).....171
Figura 60. Faixas da distribuição granulométrica do sedimento superficial da Baía de Sepetiba a partir dos dados de Ponçano (1976) e Pereira et al. (2003). Fonte: Rodrigues (2018).....172
Figura 61. Campo de correntes residual no domínio da modelagem, considerando 24 horas, maré de sizígia e meteorológica, em 20/04/96. Fonte: Cunha; Rosman; Monteiro (2001).....175
Figura 62. Campo de correntes residual no domínio da modelagem, considerando 24 horas, maré de quadratura e meteorológica, em 27/04/96. Fonte: Cunha; Rosman; Monteiro (2001).....175
Figura 63. Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande, bacias hidrográficas e coleções hídricas assinaladas na cor azul-clara.....177
Figura 64. Mosaico das cartas náuticas 1620, 1621, 1625, 1631, 1632 e 1633 para visualização da Baía de Ilha Grande e principais ilhas. Fonte: (DHN, 2015).....178
Figura 65. Vista da Baía de Ilha Grande a partir do Google Earth.....178
Figura 66. Modelo Digital de Elevação utilizado para representar o relevo da RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: PRH-BIG (2020a).....180
Figura 67. Hidrografia da Região Hidrográfica I - Baía de Ilha. Fonte: AGEVAP (2020).....181
Figura 68. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP) da Região Hidrográfica I - Baía de Ilha Grande (BIG). No interior do círculo, a área drenada do estado de São Paulo pelas bacias hidrográficas do rio Mambucaba, Bracuí e Ariró. Fonte: Inea (s/d). 182
Figura 69. Bacias hidrográficas do Rio de Janeiro e contribuições de São Paulo na Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande. Fonte: AGEVAP (2020).....183
Figura 70. Batimetria das baías de Ilha Grande e Sepetiba. Fonte: Rosman et al. (2018).....184
Figura 71. Estimativa da direção predominante das correntes superficiais e de fundo observadas em três estações maregráficas na Baía de Ilha Grande. Fonte: adaptado

de Ikeda; Stevenson (1980) por PRH-BIG (2020a).....186
Figura 72. Simulação do comportamento da corrente superficial com vento leste, no dia 04/07/17, em diferentes horários: a. 02:00, b. 03:00, c. 06:00 e d. 08:00. Fonte: Rosman et al. (2018).....188
Figura 73. Simulação do comportamento da corrente superficial com vento leste, no dia 12/01/17, em diferentes horários: a. 11:00, b. 13:00, c. 14:00 e d. 17:00. Fonte: Rosman et al. (2018).....188
Figura 74. Representação do resultado da modelagem para o comportamento da maré na Baía de Ilha Grande, no mês de janeiro de 2017. Fonte: Rosman et al. (2018).....190
Figura 75. Representação do resultado da modelagem para o comportamento da maré na Baía de Ilha Grande, no mês de julho de 2017. Fonte: Rosman et al. (2018). 190
Figura 76. Compartimentação fisiográfica da Baía de Ilha Grande. Fonte: Mahiques (1987).....191
Figura 77. Batimetria da região do Canal Central da Baía de Ilha Grande. Fonte: (Belo, 2002).....192
Figura 78. Batimetria digital da região do Canal Central da Baía de Ilha Grande com células de 45 m e intervalo de contorno de 3 m. Fonte: Reprocessamento digital de Dias et al. (1990), citados por Belo; Dias; Dias (2002).....192
Figura 79. Distribuição do sedimento segundo o diâmetro médio das partículas (Folk & Ward, 1967). Fonte: Mahiques (1987).....194
Figura 80. Amplitude da rugosidade equivalente de fundo da Baía de Ilha Grande e Sepetiba utilizada no domínio de modelagem. Fonte: Rosman et al. (2018).....195
Figura 81. Densidade populacional por setor censitário na RH V - Baía de Guanabara. Fonte: IBGE (2010), citado por CBH-BG (2020).....199
Figura 82. Uso e cobertura da terra na RH V: na cor rosa, ocupação urbana; e em amarelo, campos desmatados e pastagens. Fonte: CBH-BG/AGEVAP (2020).....200
Figura 83. Comunidade, loteamentos, aglomerados subnormais e conjuntos habitacionais, conforme informações do MP em Mapas. Fonte: Coimbra et al. (2021). 201
Figura 84. Índice de coleta de esgoto junto à população residente, em 2018, nos municípios total ou parcialmente inscritos na RH V – Baía de Guanabara. AGEVAP/CBH-BG (2020).....202
Figura 85. Distribuição de indústrias por UHP na Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2020a).....206
Figura 86. Localização das Colônias de Pescadores na Baía de Guanabara. Fonte: (Duverval et al., 2021).....208
Figura 87. Localização aproximada dos pontos de desembarque de pescado na Baía de Guanabara. Fonte: Jablonski et al. (2002).....209
Figura 88. Localização das marinas, clubes náuticos e rampas para descida de embarcações na Baía de Guanabara. Fonte: (Gherardi; Cabral, 2007).....210
Figura 89. Instalações portuárias na Baía de Guanabara. Fonte: ANTAQ (2016), citada por AGEVAP/CBH-BG (2020c).....213
Figura 90. Pontos de amostragem da água superficial dos corpos d’água drenantes para a Baía de Guanabara. Fonte: (AGEVAP/CBH-BG, 2022).....216
Figura 91. Índice de coleta de esgoto nos municípios da RH II em comparação com

a Região Sudeste, Rio de Janeiro e Brasil. Fonte: SNIS (2012, 2014, 2015), citados por PROFILL Engenharia (2017a).....226
Figura 92. Uso da terra e cobertura vegetal na RH II – Guandu. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).....228
Figura 93. Localização das áreas contaminadas e reabilitadas na RH II. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).....236
Figura 94. Pontos de coleta de água para monitoramento e classificação da qualidade de acordo com OD, DBO, P Total e Coliformes Termotolerantes na RH II – Guandu. Fonte: PROFILL Engenharia (2017c).....238
Figura 95. Municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande. No círculo amarelo, a porção do território de Mangaratiba abarcada pela RH I.....242
Figura 96. Uso e cobertura da terra na RH I – BIG. Fonte: PRH-BIG (2018b).……245
Figura 97. Distribuição de estruturas de apoio náutico (símbolo na cor azul) na RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: Inea (2015).....249
Figura 98. Distribuição de estruturas de apoio náutico (símbolo na cor azul) na RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: Inea (2015).....249
Figura 99. Localização dos pontos de coleta de água nos principais corpos d'água da RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: PRH-BIG (2020c).....253
Figura 100. Distribuição das atividades econômicas geocodificadas potencialmente geradoras de metais pesados em todas as Seções CNAE, nos municípios total ou parcialmente inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....265
Figura 101. Percentual de CNPJ nas Seções CNAE identificados nos municípios total ou parcialmente inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, RH II – Guandu/Baía de Sepetiba e RH I – Baía de Ilha Grande.....266
Figura 102. Percentual de Subclasses CNAE/atividades econômicas nos municípios inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....268
Figura 103. Distribuição de serviços de cabeleireiros, manicures e pedicures, incluindo atividades estéticas e cuidados com a beleza nas RHs V, II e I.....269
Figura 104. Distribuição de empresas de serviços de manutenção e reparação de veículos automotores (Classe CNAE 4520-0) e serviços de instalação e manutenção elétrica.....269
Figura 105. Municípios com maior contingente de pessoas jurídicas potencialmente geradoras de metais pesados inscritas no CNPJ nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....270
Figura 106. Pessoas jurídicas com atividades potencialmente introdutoras de metais pesados no meio, segmentadas por bacia hidrográfica e agrupadas por Seção CNAE na RH V – Baía de Guanabara.....272
Figura 107. Pessoas jurídicas com atividades potencialmente introdutoras de metais pesados no meio, segmentadas por bacia hidrográfica e agrupadas por Seção CNAE na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....273
Figura 108. Pessoas jurídicas com atividades potencialmente introdutoras de metais pesados no meio, segmentadas por bacia hidrográfica e agrupadas por Seção CNAE na RH I – Baía de Ilha Grande.....274
Figura 109. Vista geral da área de estudo com os pontos de coleta de sedimento superficial, canais afluentes, região costeira e Polígono de Disposição Oceânica –

PDO, nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.....284
Figura 110. Hidrografia, bacias hidrográficas e pontos de coleta de sedimento superficial na Baía de Guanabara.....286
Figura 111. Malha amostral utilizada nas coletas realizadas entre 1980 e 2022.....289
Figura 112. Hidrografia, bacias hidrográficas e pontos de coleta de sedimento superficial na Baía de Sepetiba.....290
Figura 113. Hidrografia, bacias hidrográficas e pontos de coleta de sedimento na Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande.....293
Figura 114. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de cádmio (Cd) no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.....299
Figura 115. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de chumbo (Pb) no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.....302
Figura 116. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de cromo (Cr) no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.....305
Figura 117. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de cobre (Cu) no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.....308
Figura 118. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de mercúrio (Hg) no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.....311
Figura 119. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de níquel (Ni) no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.....314
Figura 120. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de zinco (Zn) no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.....317
Figura 121. Classe de qualidade dos corpos d'água da RH V – Baía de Guanabara para fins de enquadramento. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2021).....354
Figura 122. Localização das pessoas jurídicas com atividades potencialmente introdutoras de metais pesados no ambiente da Seção A CNAE - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura, localizadas nas bacias hidrográficas das três regiões hidrográficas.....407
Figura 123. Pessoas jurídicas ativas e inativas da Seção B – Indústrias Extrativas, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....414
Figura 124. Pessoas jurídicas ativas e inativas da Seção C – Indústrias de Transformação, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....421
Figura 125. Pessoas jurídicas ativas e inativas da Seção D – Eletricidade e Gás, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....427

Figura 126. Pessoas jurídicas nativas e inativas na Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....434
Figura 127. Pessoas jurídicas na Seção F – Construção, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....450
Figura 128. Pessoas jurídicas na Seção G – Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....456
Figura 129. Pessoas jurídicas na Seção H – Transporte, Armazenagem e Correio, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....462
Figura 130. Pessoas jurídicas na Seção J – Informação e Comunicação, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....477
Figura 131. Pessoas jurídicas na Seção M – Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....482
Figura 132. Pessoas jurídicas na Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....487
Figura 133. Pessoas jurídicas na Seção P – Educação, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....491
Figura 134. Pessoas jurídicas na Seção Q – Saúde Humana e Serviços Sociais, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....496
Figura 135. Pessoas jurídicas na Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....500
Figura 136. Pessoas jurídicas na Seção S – Outras Atividades de Serviços, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....504

Lista de Quadros

Quadro 1. Número de amostras apresentando a concentração de metais pesados no sedimento - baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande - disponíveis na planilha inicial.....50
Quadro 2. Tipos de publicações, relatórios e documentos técnico-científicos utilizados como fonte de dados no presente estudo.....52
Quadro 3. Escala e legenda para a avaliação da concentração de cádmio (Cd) no sedimento de fundo da Baía de Guanabara, considerando: nível de base, sedimento com presença de metal pesado, Nível 1 e Nível 2, Resolução CONAMA 454/12. Fonte: CONAMA (2012).....59
Quadro 4: Intervalo de concentrações de metais e metaloides em rochas ígneas e sedimentares (mg kg^{-1}). Fonte: (He; Yang; Stoffella, 2005).....67
Quadro 5. Estimativa dos fluxos e emissões globais de metais pesados a partir de fontes naturais, ou autogênicas. Fonte: adaptado de NRIAGU (Nriagu, 1979).....68
Quadro 6. Fluxos naturais de matéria e energia do continente para o oceano e do oceano para o continente. Fonte: adaptado de Hassan; Scholes; Ash (2005); Kjerfve et al. (2002).....68
Quadro 7. Consumo e emissão global antropogênica de metais pesados. Fonte: adaptado de Nriagu (1996).....70
Quadro 8. Consumo e emissão global antropogênica de metais pesados no ano de 1975. Fonte: adaptado de Nriagu (1996).....72
Quadro 9. Produção minerária mundial de metais pesados e metaloides (em ton. do elemento, com exceção das ressalvas). Fonte: adaptado de Dama (2021).....72
Quadro 10. Relação entre emissão de metais pesados autogênicos e antropogênicos na biosfera no ano de 1975. Fonte: adaptado de Nriagu (1979).....72
Quadro 11. Fluxos antropogênicos de matéria e energia do continente para o oceano e do oceano para o continente. Fonte: adaptado de Hassan; Scholes; Ash (2005) e Kjerfve et al. (2002).....75
Quadro 12. Tipos de atividades humanas sediadas em terra, forma de contribuição e principais substâncias poluentes que chegam às águas. Fonte: adaptado de Bleninger (2007); Borgens (2019); EPA (1993) e Masindi; Mkhonza; Tekere (2021). 78
Quadro 13. Consequências da exposição a metais pesados a seres humanos por meio da rota respiratória (1), oral (2) e dérmica (3). Fonte: adaptado de ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2005, 2007, 2012a, 2012b, 2012c, 2020, 2024a, 2024b, 2024c).....98
Quadro 14. Classificação dos metais pesados de acordo com o efeito que podem causar aos seres humanos após exposição. Fonte: adaptado de IARC (2012).....99
Quadro 15. regiões hidrográficas (RHs), municípios inscritos e principais tributários das bacias hidrográficas. Fonte: (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a; MPRJ, *[S.d.]*; PRH-BIG, 2019; Santos et al., 2008).....108
Quadro 16. Legenda parcial do Mapa de Unidades Morfológicas da região de

interesse, RHs V, II e I. Fonte: adaptado de Dantas (2000).....122
Quadro 17. Legenda parcial do Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: adaptado de Dantas (2000).....124
Quadro 18. Síntese do papel e tipo de ação desempenhada pelos agentes meteorológicos na disponibilização de metais pesados no meio.....125
Quadro 19. Legenda do Mapa de Solos do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: adaptado de Carvalho Filho; José Francisco Lumbreras; Santos (2000).....139
Quadro 20. Índices de Sensibilidade do Litoral – ISL e principais características dos 10 tipos de feições costeiras identificadas. Fonte: adaptado de Gherardi (2007)....148
Quadro 21. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs), sub-bacias e principais tributários, incluindo área drenada e percentual da área da RH II – Guandu. Fonte: PROFILL Engenharia (2017a).....167
Quadro 22. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) da Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande – BIG, área, estado drenado e vazão média (L/S) Q50. Fonte: PRH-BIG (2019).....183
Quadro 23. Evolução (1980–2019) e população residente na Região Hidrográfica - RH V - Baía de Guanabara. Fonte: IBGE (1980, 1991, 2000 e 2010); Censo Demográfico, IBGE (2019 – estimativa da população); citados por AGEVAP/CBH-BG (2020a).....198
Quadro 24. População agrupada por Unidade Hidrológica de Planejamento (UHP) na área de drenagem de rios afluentes à RH V - Baía de Guanabara e, no recorte, das UHPs drenantes exclusivamente para a Baía de Guanabara. Fonte: IBGE (2010), citado por CBH-BG/AGEVAP (2020).....198
Quadro 25. População de parte da RH V – BG residente em aglomerados subnormais nas bacias hidrográficas drenantes na Baía de Guanabara. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2020).....201
Quadro 26. Quantidade de resíduos sólidos domésticos gerados e coletados nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2020a).....203
Quadro 27. Principais indústrias e infraestrutura da cadeia produtiva de petróleo e gás situadas nas UHPs. Fonte: Petrobras (2020), citada por AGEVAP/CBH-BG (2020a); Negreiros; Araújo; Coreixas (2002).....207
Quadro 28. Embarcações agrupadas por tipo, registradas na Capitania dos Portos do Rio de Janeiro e sediadas na Baía de Guanabara. Fonte: Instituto Rio 21 (2021). 210
Quadro 29. Principais indústrias, infraestrutura naval e operadoras de serviços situadas nas UHPs da RH V - BG. Fonte: Portal Naval (2020) e FIRJAN (2015), citados por AGEVAP/CBH-BG (2020.ª).....211
Quadro 30. Faixas de classificação do IQA adotadas pelo Inea. Fonte: Inea (2026). Fonte: Inea (2025a).....215
Quadro 31. Classificação da média da qualidade da água nos pontos de coleta dos corpos d’água de cada UHP da RH V – Baía de Guanabara entre 2014 e 2019. Fonte: (AGEVAP/CBH-BG, 2022).....217
Quadro 32. Atividades econômicas agrupadas pelas Seções CNAE responsáveis por introduzir poluentes nas coleções hídricas e, dentre eles, metais pesados nas UHPs da RH V – Baía de Guanabara.....221
Quadro 33. População estimada dos municípios que fazem parte da RH II – Guandu.

Fonte: Censo Demográfico IBGE (2010), citado por PERH Guandu (2017).....224
Quadro 34. População estimada por município residente no território da RH II – Guandu. Fonte: Censo Demográfico IBGE (2010), citado por PERH Guandu (2017). 224
Quadro 35. População estimada para cada UHP. Fonte: Censo Demográfico. Distribuição proporcional à área dos setores censitários, 2010, citado por (PERH Guandu, 2017).....225
Quadro 36. Área (km^2) ocupada por diferentes classes de uso do solo nas UHPs da RH II, em ordem decrescente de participação, ano 2016. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).....228
Quadro 37. Principais atividades econômicas na Região Hidrográfica II – Guandu/Baía de Sepetiba, no início da década de 1990. Fonte: Barcellos; Lacerda (1994).....231
Quadro 38. Distritos industriais da Região Hidrográfica II – Guandu/Baía de Sepetiba. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).....232
Quadro 39. Distritos industriais da Região Hidrográfica II – Guandu/Baía de Sepetiba. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).....232
Quadro 40. Indústrias em ordem de importância quanto à captação de água, lançamento de efluentes e locais de lançamento. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).....233
Quadro 41. Classificação dos pontos de coleta para monitoramento da qualidade da água, considerando as classes de enquadramento definidas na Resolução CONAMA n.° 357/2005. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).....238
Quadro 42. Atividades econômicas agrupadas pelas Seções CNAE responsáveis por introduzir poluentes nas coleções hídricas e, dentre eles, metais pesados nas UHPs da RH II – Guandu.....239
Quadro 43. População rural e urbana dos municípios da RH I – BIG. Fonte: PRH-BIG (2018).....242
Quadro 44. População presente nas UHPs da RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: IBGE, 2010, citado por PRH-BIG (2018).....243
Quadro 45. Estimativa da população presente nas UHPs da RH I – Baía de Ilha Grande para 2018. Fonte: IBGE, 2010, citado por PRH-BIG (2018).....243
Quadro 46. Classes de uso e cobertura da terra na RH I – BIG. Fonte: PRH-BIG (2018b).....244
Quadro 47. Resíduos sólidos gerados, destinados e não coletados nos municípios de Angra dos Reis e Paraty. Fonte: adaptado de PRH-BIG (2020a).....246
Quadro 48. Embarcações cadastradas por tipo de atividade nos municípios de Angra dos Reis e Paraty em 2014. Fonte: Diretoria de Portos e Costas (DPC), 2014, citado por Inea, 2015).....250
Quadro 49. Lixões e aterros desativados presentes nos municípios da RH I – BIG. Fonte: EcoX Ambiental (2015), PMAR (2017), SNIS (2010 a 2016), citados por PRH-BIG (2020.a).....251
Quadro 50. Classe de qualidade para as amostras de água superficial coletadas nos rios da RH I – BIG em duas campanhas. Fonte: PRH – BIG (2020c).....253
Quadro 51. Atividades econômicas agrupadas pelas Seções CNAE responsáveis por introduzir poluentes nas coleções hídricas e, dentre eles, metais pesados nas UHPs da RH II – Guandu.....254

Quadro 52. Principais atividades antropogênicas responsáveis por aportar metais pesados no meio. Fonte: adaptado de Ibrahimova et al. (2025).....256
Quadro 53. Tipos e quantidade de indústrias por Unidade Hidrológica de Planejamento (UHP) na RH V – Baía de Guanabara. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2020).....259
Quadro 54. Tipos e quantidade de indústrias por regiões abarcadas pelos Retratos Regionais, municípios e Unidade Hidrológica de Planejamento (UHP) na RH V – Baía de Guanabara. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2020); Coimbra et al. (2021); FIRJAN (2017a, 2017b, 2017c, 2018).....260
Quadro 55. Total de indústrias por tipologia nos municípios pertencentes à RH V – Baía de Guanabara. Fonte: Coimbra et al. (2021).....261
Quadro 56. Número de CNPJs ativos e inativos identificados para cada Seção nos municípios total ou parcialmente inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....265
Quadro 57. Classificação ordenada das empresas por Seção da CNAE nos municípios inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....266
Quadro 58. Classificação ordenada das empresas por código e nome da Divisão da CNAE nos municípios inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....267
Quadro 59. Classificação ordenada das empresas por Código e Nome da Subclasse CNAE/atividade econômica nos municípios inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.....267
Quadro 60. Classificação ordenada dos municípios inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande com maior número de pessoas jurídicas.....270
Quadro 61. Metais pesados introduzidos no ambiente costeiro pelas principais atividades socioeconômicas baseadas em terra.....276
Quadro 62. Metais pesados introduzidos no ambiente costeiro pelas principais atividades socioeconômicas realizadas na água e substrato das regiões costeiras. 278
Quadro 63. Tipos de publicações e documentos científicos utilizados como fonte de dados para o presente estudo.....280
Quadro 64. Número de artigos científicos identificados para cada uma das baías estudadas nas bases de dados Scopus e PubMed.....280
Quadro 65. Monografias de conclusão de cursos, dissertações de mestrado e teses de doutorado nas universidades da região relacionadas ao objeto de estudo.……281
Quadro 66. Número de amostras de sedimento para avaliação de metais pesados, publicações e anos de coleta para as baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande. 282
Quadro 67. Número de amostras analisadas para cada um dos analitos considerados no substrato, rios afluentes e região oceânica adjacente às baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.....283
Quadro 68. Número de amostras de sedimento analisadas para determinação de metais pesados na Baía de Guanabara, agrupadas por décadas.....285
Quadro 69. Número de amostras de sedimento analisadas para cada metal pesado por década na Baía de Guanabara.....285

Quadro 70. Número de amostras e estatística básica para cada conjunto de analitos analisados a partir de coleta de sedimento de fundo no substrato da Baía de Guanabara, entre 1980 e 2002.....287
Quadro 71. Número de amostras de sedimento analisadas para determinação de metais pesados na Baía de Sepetiba, agrupadas por décadas.....288
Quadro 72. Número de amostras de sedimento analisadas para cada metal pesado por década na Baía de Sepetiba.....288
Quadro 73. Número de amostras e estatística básica para cada conjunto de analitos analisados a partir de coleta de sedimento de fundo no substrato da Baía de Sepetiba, entre 1980 e 2022.....291
Quadro 74. Número de amostras de sedimento analisadas para determinação de metais pesados na Baía de Ilha Grande, agrupadas por décadas.....292
Quadro 75. Número de amostras de sedimento analisadas para cada metal pesado por década na Baía de Ilha Grande.....292
Quadro 76. Número de amostras e estatística básica para cada conjunto de analitos analisados a partir de coleta de sedimento de fundo no substrato da Baía de Ilha Grande, entre 2001 e 2013.....294
Quadro 77. Escala e legenda para a avaliação da concentração de cádmio (Cd) no sedimento de fundo da Baía de Guanabara, considerando: nível de base, sedimento com presença de metal pesado, Nível 1 e Nível 2, Resolução CONAMA 454/12. Fonte: CONAMA (2012).....295
Quadro 78. Quantidade de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de cádmio (Cd), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía. 297
Quadro 79. Quantidade de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de chumbo (Pb), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía. 300
Quadro 80. Quantidade de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de cromo (Cr), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía.. 303
Quadro 81. Número de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de cobre (Cu), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía.. 306
Quadro 82. Número de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de mercúrio (Hg), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía. 309
Quadro 83. Número de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de níquel (Ni), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía…312
Quadro 84. Número de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de zinco (Zn), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía.. .315
Quadro 85. Resoluções CONAMA: número, data e finalidade daquelas relacionadas às águas e, principalmente, contaminação por metais pesados.....337
Quadro 86: Níveis de classificação da qualidade de sedimento em águas doces, salobras e salinas a partir da concentração de metais pesados no sedimento. Fonte: adaptado de CONAMA (2012).....339
Quadro 87. Atividades sujeitas ao licenciamento ambiental no estado do Rio de Janeiro, de acordo com o Decreto Estadual 46.890/21. Fonte: Rio de Janeiro (2019). 342
Quadro 88. Atividades industriais e de serviços previstas no PROCON Água

geradoras de metais pesados. Fonte: adaptado de Inea (2021).....343
Quadro 89. Quantidade de pontos de coleta nas três baías no banco de dados inicial e após complementação e atualização.....358
Quadro 90. Relação das publicações, autores, ano de publicação, características e ano da coleta das amostras incluindo do link, quando disponível, para acesso aos dados do documento citado.....399
Quadro 91. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....405
Quadro 92. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....406
Quadro 93. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....406
Quadro 94. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....406
Quadro 95. Metais pesados aportados no meio por diferentes atividades da Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura.....411
Quadro 96. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção B – Indústrias Extrativas. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....412
Quadro 97. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção B - Indústrias Extrativas nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....413
Quadro 98. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção B - Indústrias Extrativas nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba. 413
Quadro 99. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção B - Indústrias Extrativas nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....413
Quadro 100. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção B – Indústrias Extrativas.....417
Quadro 101. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção C – Indústrias de Transformação. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015d).....419
Quadro 102. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção C – Indústrias de Transformação nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara. 420
Quadro 103. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção C – Indústrias de Transformação nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....420
Quadro 104. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção C – Indústrias de Transformação nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande. 420
Quadro 105. Possíveis contribuições de metais pesados por diferentes tipos de atividades industriais. Fonte: adaptado de Alloway (2012), citado por Dama (2021). 423

Quadro 106. Fontes de metais pesados por alguns processos e atividades industriais. Fonte: adaptado de Navratil et al. (2005), citados por Dama (2021).....423
Quadro 107. Metais pesados introduzidos por algumas atividades da Seção C – Indústrias de transformação.....424
Quadro 108. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção D – Eletricidade e Gás. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....425
Quadro 109. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na D – Eletricidade e Gás nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....425
Quadro 110. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na D – Eletricidade e Gás nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba. 426
Quadro 111. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção D – Eletricidade e Gás nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....426
Quadro 112. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção D – Eletricidade e Gás.....429
Quadro 113. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....432
Quadro 114. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....432
Quadro 115. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....433
Quadro 116. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....433
Quadro 117. Fontes de metais pesados em efluentes residenciais em Estocolmo, em 1999, adaptado de (Sörme; Lagerkvist, 2002).....437
Quadro 118. Fontes de metais pesados em efluentes comerciais em Estocolmo, em 1999, adaptado de Sörme; Lagerkvist (2002).....438
Quadro 119. Principais fontes de metais pesados introduzidos pela drenagem urbana de áreas construídas. Em fundo na cor laranja, fontes mais significativas que em fundo amarelo, menos significativas. Fonte: adaptado de Sörme; Lagerkvist (2002) 445
Quadro 120. Importância relativa dos diferentes tipos de uso da terra em áreas urbanas e potencial de contaminar águas pluviais e drenagem urbana. Fonte: National Research Council (2008).....445
Quadro 121. Contribuições percentuais aproximadas de metais pesados pelas diferentes fontes e produtos/bens/atividades em Estocolmo, 1999. Fonte: Sörme; Lagerkvist (2002).....446
Quadro 122. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção E - Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação.....447
Quadro 123. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção F – Construção. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015d).....448
Quadro 124. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção F -

Construção nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....449
Quadro 125. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção F - Construção nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....449
Quadro 126. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção F – Construção nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....450
Quadro 127. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção F – Construção. Fonte:.....452
Quadro 128. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção G – Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....454
Quadro 129. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....455
Quadro 130. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....455
Quadro 131. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....455
Quadro 132. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção G – Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas.....458
Quadro 133. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....460
Quadro 134. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio, nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....461
Quadro 135. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....461
Quadro 136. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....461
Quadro 137. Metais pesados introduzidos no meio e principais fontes decorrentes do trânsito de veículos em rodovias. Fonte: adaptado de EPA (1993).....463
Quadro 138. Emissão de metais pesados (em ton/ano) pelo tráfego automotivo, considerando 6 x 10^6 veículos em Houston, Texas, EUA. Fonte: adaptado de Ajmone-Marsan (2010), citado por Dama (2021).....463
Quadro 139. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção H – Transporte, armazenagem e correio. Fonte:.....474
Quadro 140. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção J – Informação e Comunicação. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....475
Quadro 141. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção J – Informação e Comunicação nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara. 475
Quadro 142. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção J –

Informação e Comunicação nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....476
Quadro 143. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção J – Informação e Comunicação nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande. 476
Quadro 144. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção J - Informação e Comunicação.....478
Quadro 145. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....480
Quadro 146. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....480
Quadro 147. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....480
Quadro 148. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....481
Quadro 149. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas.....483
Quadro 150. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção N – Atividades Administrativas e Serviços Complementares.....484
Quadro 151. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....485
Quadro 152. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....486
Quadro 153. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....486
Quadro 154. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....486
Quadro 155. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social.....488
Quadro 156. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção P – Educação. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015d).....489
Quadro 157. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção P - Educação nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....489
Quadro 158. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção P - Educação nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....490
Quadro 159. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção P - Educação nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....490
Quadro 160. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção P –

Educação.....492
Quadro 161. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção Q – Saúde humana e Serviços Sociais. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....493
Quadro 162. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Q – Saúde humana e Serviços Sociais nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....494
Quadro 163. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Q – Saúde humana e Serviços Sociais nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....495
Quadro 164. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Q – Saúde humana e Serviços Sociais nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....495
Quadro 165. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção Q – Saúde Humana e Serviços Sociais.....497
Quadro 166. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....498
Quadro 167. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....499
Quadro 168. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....499
Quadro 169. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....499
Quadro 170. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação.....501
Quadro 171. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção S – Outras Atividades de Serviços. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).....502
Quadro 172. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção S – Outras Atividades de Serviços nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.....503
Quadro 173. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção S – Outras Atividades de Serviços nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.....503
Quadro 174. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção S – Outras Atividades de Serviços nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.....503
Quadro 175. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação.....505
Quadro 176. Níveis de classificação da qualidade de sedimento em águas doce, salobra e salina a partir da concentração de metais pesados no sedimento. Fonte: adaptado da Tabela III, Resolução CONAMA n.° 344/2004 (CONAMA, 2004).....535
Quadro 177. Padrões de qualidade – concentração de metais pesados em mg por

litro) – para as Classes de água doce, salina e salobra. Fonte: adaptado da Resolução CONAMA n° 357/2005 (CONAMA, 2005).....536
Quadro 178. Limites da concentração de metais pesados em águas subterrâneas para cada um dos tipos de usos preponderantes e de quantificação praticável (LQP). Fonte: adaptado do Anexo I da Resolução CONAMA n° 396/2008 (CONAMA, 2008). 537
Quadro 179. Concentração tolerada de metais pesados no solo e água subterrânea para diferentes tipos de uso do solo. Fonte: adaptado do Anexo I da Resolução CONAMA n°. 420/2009 (CONAMA, 2009).....538
Quadro 180. Padrões para lançamento de efluentes com metais pesados em corpos d'água. Fonte: adaptado da Tabela I da Resolução CONAMA n° 430/2011 (CONAMA, 2011).....539
Quadro 181: Níveis de classificação da qualidade de sedimento em águas doces, salobras e salinas a partir da concentração de metais pesados no sedimento. Fonte: adaptado de Resolução CONAMA n° 454/2012 (CONAMA, 2012).....541
Quadro 182. Atividades sujeitas ao licenciamento ambiental no estado do Rio de Janeiro de acordo com o Decreto Estadual 46.890/21. Fonte: Rio de Janeiro (2019). 543
Quadro 183. Parâmetros mínimos a serem monitorados de efluentes industriais e não sanitários no Procon Água. Fonte: Inea (2021).....546
Quadro 184. Atividades industriais e de serviços previstas no PROCON Água geradoras de metais pesados. Fonte: adaptado de Inea (2021).....547

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AC – Água Costeira

ACAS – Água Central do Atlântico Sul

ACI – Área Contaminada sob Intervenção

ACIESP – Academia de Ciências do Estado de São Paulo

AGEVAP - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

AI - Área Contaminada sob Investigação

Al – Alumínio

AMR - Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ANTAQ – Agência Nacional de Transporte Aquaviário

ANZECC - Australian and New Zealand Environment and Conservation Council

AP – Antes do Presente

APA – Área de Proteção Ambiental

APP - Área de Preservação Permanente

APPs - Áreas de Preservação Permanentes

AR - Área reabilitada para o uso declarado

ARMCANZ - Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand

As – Arsênio

ASAS - Anticiclone subtropical do Atlântico Sul

AT – Água Tropical

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry

BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

BG – Baía de Guanabara

BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento

BIG – Baía de Ilha Brande

BrasFELS – Estaleiro instalado na praia de Jacuecanga, Angra dos Reis

BS – Baía de Sepetiba

CBH - Guandu – Comitê de Bacia Hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu

CBH – BG – Comitê de Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara

CBH – BIG - Comitê de Bacia Hidrográfica da Bacia Hidrográfica da Baía de Ilha Grande

Cd - Cádmio

CDRJ - Companhia Docas do Rio de Janeiro

CEEIBH - Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas

CENSO – Censo demográfico IBGE

CEPERJ - Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro

CEPUERJ - Centro de Produção da Universidade do Estado do Rio de Janeiro

CERHI-RJ - Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CIRM - Comissão Interministerial para os Recursos do Mar

CN-1501 – Carta Náutica n° 1501

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CNPJ – Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CNUDM - Conferência das Nações Unidas sobre o Direito do Mar

Co – Cobalto

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONCLA - Comissão Nacional de Classificação

CONEMA – Conselho Estadual de Meio Ambientes

CONVALE - Aterro Consorciado Vale do Café

Cr - Cromo

CTAP - Câmara Técnica de Análise de Projetos.

CTCost ou CTCOST – Câmara Técnica Costeira (de Comitê de Bacia Hidrográfica)

CTEM - Câmara Técnica de Educação Ambiental e Mobilização

CTIG - Câmara Técnica de Instrumentos de Gestão

CTIL - Câmara Técnica Institucional e Legal

CTIV - Câmara Técnica Infraestrutura Verde

CTR - Centro de gerenciamento de resíduos

CTSAM - Câmara Técnica de Saneamento Ambiental

Cu - Cobre

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha

DNA - Ácido desoxirribonucleico

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EBN - Estaleiro da Base Naval

ENE – Este – Nordeste

EPA 3050 – Método de digestão de matéria orgânica nas amostras de sedimento preconizado pela Environmental Protection Agency

EPA 3051A – Idem acima

EPA 3152 – Idem acima

ERO - Espécies reativas de oxigênio

ESEC – Estação Ecológica

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

EUA – Estados Unidos da América

Fe – Ferro

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro

FUNDRHI - Fundo Estadual de Recursos Hídricos

GEOInea - Portal GEOINEA Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) do Rio de Janeiro

GI-GERCO - Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro

GLP - Gás liquefeito de petróleo

Hg - Mercúrio

HMS - His/Her Majesty's Ship / Navio de sua majestade

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Inea – Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

IQA - Índice de Qualidade das Águas

ISL - Índice de Sensibilidade do Litoral

JBIC - Banco Japonês para Cooperação Internacional

kg - Kilograma

LEPLAC - Plano para Levantamento da Plataforma Continental Brasileira

LLX - LLX Logistica S.A.

mg – Miligrama

$mg \cdot kg^{-1}$ – Miligrama por kilograma (ppm)

MMA – Ministério do Meio Ambiente

$mmol \cdot kg^{-1}$ – Milimol por quilograma

$mmol \cdot m^2$ – Milimol por metro quadrado

MMX - MMX Mineração e Metálicos S.A.

Mn - manganês

Mol - Unidade de medida do Sistema Internacional (SI) usada para indicar a quantidade de matéria

MP em Mapas - Plataforma digital de informações geospaciais do Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro (MPRJ)

N – Nitrogênio

NAICS - North American Industry Classification System

NB – Nível de base / background

NE-SW – Nordeste – sudoeste

ng l^{-1} – Nanograma por litro

NH^{4+} - Nitrogênio amoniacal

NK - Nitrogênio Kjeldahl

NK - Nitrogênio Kjeldahl

nmol – Nanomol coorespondendo 10^{-9} mol

$nmol \cdot g^{-1}$ - Nanomol por grama

NO^{3-} - Nitrato

NOP-Inea – Norma Operacional Inea

NR – Nível de referências

OD - Oxigênio dissolvido

P – Fósforo

P Total – Fósforo total

PAST – Paleontological Statistics

Pb - Chumbo

PDBG - Programa de Despoluição da Baía de Guanabara

PDTU RMRJ – Plano Diretor de Transporte Urbano da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos

PERH Guandu - Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim

pH - Potencial hidrogeniônico

PNGC - Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro

PNGC - Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro

PNMA - Política Nacional de Meio Ambiente

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

PNRM - Política Nacional para os Recursos do Mar

PO^{4-3-} Ortofosfato

ppb – Parte por bilhão

ppm – Parte por milhão

ppmil – Parte por mil

PRH-BIG – Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica da Baía de Ilha Grande

PROANTAR - Programa Antártico Brasileiro

Procon Água - Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos (Inea RJ)

PSRM - Plano Setorial para os Recursos do Mar

PT – Fósforo totalidade

PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

QGIS– Quantum GIS

REDUC - Refinaria Duque de Caxias

RH – Região Hidrológica

RMRJ - Região Metropolitana do Rio de Janeiro

ROS - Reactive oxygen species

SAO - Sistema separador de água e óleo

Sb – Antimônio

SELCA - Sistema Estadual de Licenciamento Ambiental

SEMA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Rio de Janeiro

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SIGA ÁGUAS - Plataforma do Sistema Integrado de Gestão das Águas usadas no Brasil para monitorar recursos hídricos

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente

SLAM - Sistema de Licenciamento Ambienta

SPU - Secretaria do Patrimônio da União

SQA/MMA - Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos do Ministério do Meio Ambiente

TAAR - Terminal Aquaviário de Angra dos Reis

TAB – Toneladas de arqueação bruta

TAC FRADE - Termo de Ajustamento de Conduta para o campo de petróleo Frade, Bacia de Campos

TCE-RJ – Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro

TEBIG - Terminal Marítimo da Baía da Ilha Grande

TEBIG/PETROBRAS – Terminal da Baía de Ilha Grande / PETROBRAS

Ti – Titânio

TKCSA - ThyssenKrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico

Tl – Tálio

ton/ano – toneladas ano

TPB - Toneladas de porte bruto

TSM - Temperatura Superficial do Mar

UC – Unidade de Conservação

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

UFF – Universidade Federal Fluminense

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UHP – Unidade Hidrológica de Planejamento

UNB – Universidade de Brasília

UNCLOS - United Nations Conference on the Law of the Seas

URL - Uniform Resource Locator /(Localizador Uniforme de Recursos

USP – Universidade de São Paulo

UTM – Universal Transversa de Mercator

V – Vanádio

ZEE - Zona Econômica Exclusiva

ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico

ZEEC – Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro

Zn – Zinco

$\mu g \cdot g^{-1}$, - Micrograma por grama (ppm)

1. INTRODUÇÃO

Metais pesados são elementos químicos onipresentes na composição das rochas da crosta, manto e núcleo, constituindo a geosfera. Bem como na atmosfera, hidrosfera e biosfera, sempre em baixas concentrações.

Graças à ação do intemperismo, são liberados das rochas, transportados e, em algumas situações, acumulados em concentrações acima do considerado normal em alguns ambientes sedimentares, principalmente, caracterizando as contribuições autogênicas.

Com as ações dos seres humanos, desde quando dominou o fogo e passou a utilizá-lo em ambientes confinados como cavernas, metais pesados passaram a ser introduzidos e caracterizaram as emissões antropogênicas. E, com o passar do tempo, tornaram-se cada vez mais intensas e sem previsão, além da possibilidade de serem controlados, contidos ou eliminados.

A concentração de metais pesados no sedimento presente nas regiões costeiras, e, particularmente, no presente caso, no fundo das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande, apresenta-se como um ótimo indicador da qualidade ambiental. Tanto por meio de contribuições naturais como, principalmente, por aquelas introduzidas pelas atividades humanas realizadas nas regiões drenadas pelos corpos d'água das bacias hidrográficas para as baías e no espelho d'água.

O presente estudo se propõe a descrever as principais características, eventos e fatores responsáveis pelas elevadas concentrações de algumas espécies de metais pesados no sedimento de fundo das baías fluminenses, sejam de origem natural ou autogênica, como induzida pela ação dos seres humanos e, portanto, antropogênica.

Presentes em concentrações muito baixas no ambiente, eram de difícil detecção antes do desenvolvimento de técnicas espectroscópicas para análise e identificação. E, somente após incidentes históricos de contaminação ambiental e problemas para a saúde pública ocorridos nas décadas de 1940-1950, como a "doença de itai-itai" (decorrente da exposição crônica causada pelo consumo de arroz contaminado com cádmio aliada à má nutrição da população exposta), além da doença de Minamata (causada pela contaminação aguda por metilmercúrio concentrado em moluscos e frutos do mar), passaram a ter o necessário destaque,

de acordo com Sakamoto et al. (2001); Nogawa (1981); citados por Gustin et al. (2021).

Com o aprimoramento e disseminação dessas técnicas espectroscópicas, a partir do final da década de 1960, tornou-se possível mensurar a concentração de elementos químicos, em escassa presença, resultando na expansão das pesquisas a respeito desses elementos, até então “invisíveis” para a ciência, já na década de 1970.

Como decorrência, os termos “metal(is) pesado(s)” ou “metal(is) traço” passaram a ser cada vez mais conhecidos e utilizados, tornando-se parte das preocupações da comunidade científica, principalmente aquela focada em estudos ambientais, em atividades industriais e junto a políticas públicas voltadas ao monitoramento para manutenção da qualidade ambiental (Gustin; Hou; Tack, 2021).

A partir daí, a avaliação da presença e concentrações de metais pesados no meio, seja a partir de fontes naturais ou autogênicas, como induzidas pelos seres humanos, ou antropogênicas, passou a direcionar estudos para avaliar sua presença e concentração, comportamento e consequências. Além de melhor conhecer os fluxos tanto no nível local como em escala global, visando avaliar o papel e a importância para a salvaguarda e manutenção da qualidade ambiental.

Normalmente, metais-traços estão presentes em concentrações infinitesimais nas águas doces, salobras e salinas e, quando dissolvidos, podem ser encontrados em diferentes formas, como íons hidratados livres, complexos inorgânicos e complexos orgânicos, desempenhando papel essencial para os organismos vivos (Bruland; Donat; Hutchins, 1991).

Metais pesados chegam à biosfera por meio de processos naturais, ou autogênicos, e de atividades humanas, ou antropogênicas, Figura 1.

Nesse contexto, o presente estudo almeja contribuir para esclarecer as perguntas de pesquisa a seguir:

1. Como os processos naturais e as atividades humanas controlam a introdução, a distribuição e a variação da concentração espacial e temporal de metais pesados no sedimento de fundo das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande?

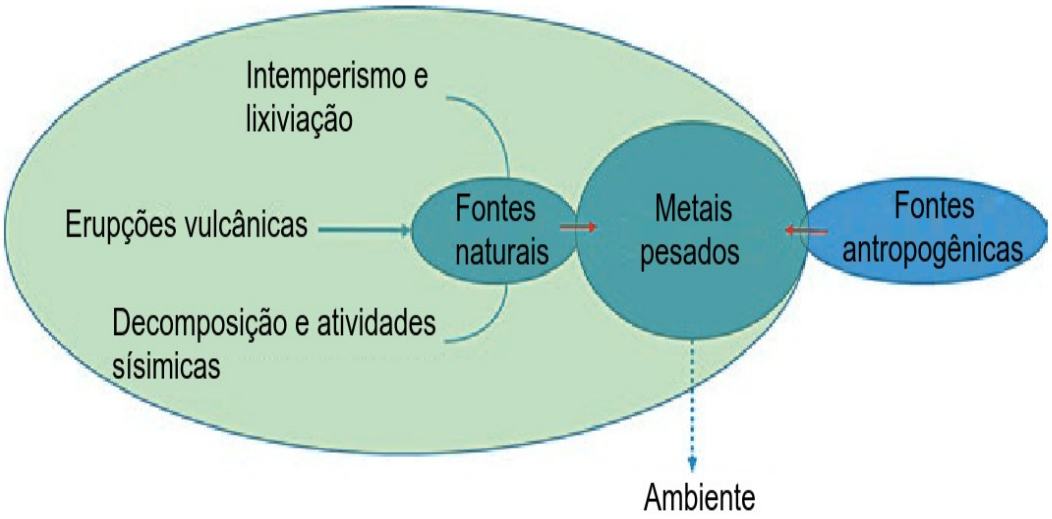


Figura 1. Desenho esquemático demonstrando os principais agentes e fluxos autogênicos de metais pesados no ambiente. Fonte: (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

2. Quais as implicações que os metais pesados apresentam para os ecossistemas e a saúde da população?
3. Como o conhecimento gerado a respeito dos metais pesados nesses ambientes pode subsidiar a gestão ambiental costeira, a tomada de decisão por parte dos gestores públicos e a mobilização da sociedade visando o controle e atenuação desse passivo ambiental que se acentua com o passar do tempo?

Para fundamentar e contribuir para o esclarecimento dessas questões, a pesquisa foi estruturada a partir de seis abordagens complementares, a constituir linhas de abordagem dessa temática no presente estudo, abarcadas pelos Objetivos Geral e Específicos a seguir descritos.

Os resultados apresentados visam contribuir para a caracterização, bem como compreensão, do quadro afeito à presença e aumento da concentração de metais pesados introduzidos por atividades humanas em ambientes costeiros. Para, espera-se, subsidiar a identificação de lacunas legais e proposição de medidas para o aprimoramento desses instrumentos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar, por meio de dados secundários, a contaminação do sedimento das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande por metais pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb e Zn), as principais características ambientais, as fontes potenciais relacionadas às atividades socioeconômicas e os instrumentos legais incidentes, visando contribuir para o aprimoramento de políticas públicas.

2.2. Objetivos específicos

- Atualizar o banco de dados “Metais pesados no sedimento das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande”.

- Caracterizar as regiões hidrográficas V - Baía de Guanabara, II - Guandu/Baía de Sepetiba e I - Baía de Ilha Grande sob perspectivas ambiental e socioeconômica.

- Identificar as principais fontes antropogênicas com potencial de aportar metais pesados nas regiões hidrográficas e baías consideradas.

- Avaliar a variabilidade espaço-temporal das concentrações dos metais pesados no sedimento das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.

- Descrever os instrumentos legais focados na gestão da introdução de metais pesados no sedimento das baías fluminenses com vistas ao aprimoramento de políticas públicas.

3. MÉTODO DE TRABALHO

A Seção Método de Trabalho detalha os procedimentos técnicos e científicos adotados, apresentando as justificativas para cada etapa em consonância com os resultados esperados. A estratégia foi estruturada para atender aos objetivos específicos da pesquisa, compreendendo: a atualização do banco de dados constituído pelo resultado de análises de sedimento para avaliação da concentração de metais pesados no sedimento das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande; a caracterização socioambiental das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, I – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande; a identificação das fontes antropogênicas potencialmente aportadoras de metais pesados. Adicionalmente, descrevem-se os critérios para a avaliação da variabilidade espaço-temporal dos metais nas três baías fluminenses e, sem seguida, a análise do aparato legal vigente com o intuito de contribuir para o aprimoramento de políticas públicas voltadas à gestão desse contaminante nesses ecossistemas.

3.1. Atualização do banco de dados “Metais pesados no sedimento das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande”

A atualização do banco de dados geoquímicos foi realizada a partir da compilação sistemática de resultados analíticos provenientes de 34 publicações técnico-científicas, incluindo artigos científicos, dissertações, teses e relatórios institucionais, listadas no **Anexo 8.1. . Apêndice 1 - Autores, títulos, ano de publicação e disponibilidade do documento na rede do banco de dados inicial**, página 398.

A planilha inicial foi constituída por um conjunto com 914 amostras de sedimento obtidas na superfície e por testemunhos, distribuídas nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande, Quadro 1.

Os critérios de seleção para consolidação dos dados consideraram:

- inclusão de estudos com identificação clara do ponto de coleta, coordenadas geográficas e informação do método analítico adotado;
- exclusão de amostras sub-superficiais provenientes de testemunhos;
- padronização das unidades de concentração; e
- validação das coordenadas geográficas.

Quadro 1. Número de amostras apresentando a concentração de metais pesados no sedimento - baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande - disponíveis na planilha inicial.

Região de estudo	Linha		Número de amostras
	De	A	
Baía de Guanabara	3	241	238
Baía de Guanabara – região costeira próxima	242	249	7
Baía de Ilha Grande	250	271	21
Baía de Sepetiba	272	866	594
Baía de Sepetiba – região costeira próxima	867	873	6
Região costeira Rio de Janeiro adjacente	874	914	40
Total de amostras			906

O banco de dados final foi constituído por três planilhas distintas com dados ambientais, analitos e metais pesados analisados em cada amostra, agrupados em abas. A primeira, para sedimento de fundo da respectiva baía, e as demais, quando existentes, para o sedimento amostrado nos rios afluentes à baía e na região costeira adjacente.

A ressaltar que, nas três baías consideradas, um significativo número de resultados era de análises de sedimento em diferentes profundidades de um mesmo testemunho.

Para essas situações, considerou-se apenas a amostra superficial, descartando os resultados das demais profundidades.

Durante a compilação dos dados, verificou-se a utilização de diferentes unidades de concentração para os metais pesados, tais como:

- $\mu g \cdot g^{-1}$, $mg \cdot kg^{-1}$ e ppm, representando a mesma concentração;
- $nmol \cdot g^{-1}$;
- $mmol \cdot kg^{-1}$;
- $mmol \cdot m^{2;}$

Todas as concentrações foram convertidas para a unidade padrão adotada neste estudo, $mg \cdot kg^{-1}$ (equivalente a ppm), utilizando fatores de conversão estequiométricos apropriados, quando necessário.

Essa padronização visou possibilitar análises comparativas e estatísticas subsequentes, embora, na presente fase, os dados listados não tenham considerado o método de preparação e digestão das amostras, como EPA 3050, EPA 3051A, EPA 3152 ou água régia, entre outros.

O controle de qualidade e validação dos dados considerou a verificação de:

- erros de digitação ou transcrição ao comparar os dados da planilha

com as publicações de onde foram obtidos;

- valores anômalos incompatíveis com a literatura regional; e
- inconsistências nas coordenadas geográficas

As coordenadas geográficas das amostras foram convertidas para o sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), com o Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000/UTM zone 23S.

Pontos que inicialmente se encontravam fora dos limites geográficos das áreas de estudo foram conferidos nas publicações originais e corrigidos quando possível. Ou descartados quando a coordenada apresentada não guardava relação com a área de estudo.

Mesmo após utilizar outros Sistemas de Referência de Coordenadas para verificar se estava inscrita na região de interesse, visto que, como regra, as publicações não informavam esse requisito técnico.

A ampliação do banco de dados envolveu consultas sistemáticas às bases Scopus e PubMed no período de 1991 a 2025. A estratégia de busca utilizou operadores booleanos e descritores relacionados aos metais de interesse e às áreas de estudo, conforme a estrutura geral:

(("heavy meta*" OR "trace meta*") OR (Cd OR cadmium) OR (Cr OR chromium) OR (Cu OR copper) OR (Hg OR mercury) OR (Mn OR manganese) OR (Ni OR nickel) OR (Pb OR plumbum OR lead) OR (Zn OR zinc))

AND

(Guanabara OR Sepetiba OR "Ilha Grande" OR Paraty OR Mamanguá OR Ribeira)

Adicionalmente, Quadro 2, foram realizadas buscas em bancos de teses e dissertações de instituições de ensino superior (UFF, UFRJ, UERJ, PUC-Rio, USP, UNB, entre outras), utilizando combinações dos termos:

- sedimento;
- metais pesados
- nome das baías e municípios associados

Bem como consultadas diferentes versões de documentos técnicos no nível federal, como Plano Nacional de Recursos Hídricos; Macrodiagnóstico da zona costeira; informativos da Marinha do Brasil; Áreas prioritárias para a conservação,

utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade na zona costeira e marinha; Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima de Santos; e Projeto Orla, dentre outros.

Na esfera estadual, foram consultados o Plano de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara, RH II - Guandu/Baía de Sepetiba e RH I - Baía de Ilha Grande, Projeto Rio de Janeiro: estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro e Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) da Baía de Ilha Grande, principalmente.

E, no que respeita a relatórios técnicos de caracterização e monitoramento ambiental produzidos por órgãos estaduais e federais, foi realizada busca na biblioteca do Instituto Estadual do Ambiente (Inea) para consulta dos documentos em formato físico, em seguida digitados e posteriormente incorporados às planilhas consolidadas.

Quadro 2. Tipos de publicações, relatórios e documentos técnico-científicos utilizados como fonte de dados no presente estudo.

Tipo de documento	Atividade realizada
Artigos e publicações científicas	Consulta às bases Scopus e PubMed
Monografias, dissertações e teses	Consulta ao banco de monografias, dissertações e teses da UFF, UFRJ, UERJ, PUC Rio, USP e UNB, entre outras
Banco de dados de pesquisadores	Utilização de planilhas com dados de estudos realizados na Baía de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande
Relatório para monitoramento ambiental tanto do órgão licenciador estadual como do federal	Consulta aos relatórios em meio físico disponíveis na biblioteca do INEA
Relatórios técnicos	Solicitado acesso à ouvidoria do INEA sem retorno até o presente e a FIRJAN, não autorizado

Além de solicitações de acesso a bases institucionais, não disponibilizadas, no Inea e na Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN).

3.2. Caracterização das regiões hidrográficas: V - Baía de Guanabara, II - Guandu/Baía de Sepetiba e I - Baía de Ilha Grande sob perspectivas ambiental e socioeconômica

A caracterização ambiental e socioeconômica das regiões hidrográficas RH V - Baía de Guanabara, RH II – Guandu/Baía de Sepetiba e RH I - Baía de Ilha Grande fundamentou-se em pesquisa documental e revisão bibliográfica exaustiva.

O procedimento metodológico foi delineado para estruturar o diagnóstico a

partir da caracterização física da região, bem como da dinâmica do uso e ocupação da terra por meio de atividades antropogênicas potencialmente introdutoras de metais pesados.

Quanto à contaminação do sedimento por metais pesados, as informações foram extraídas de publicações científicas, dissertações de mestrado e teses de doutorado desenvolvidas nas três baías.

A coleta de dados secundários foi organizada em três abordagens:

- científica - a partir de literatura indexada por meio do levantamento de artigos, teses e dissertações nas bases Scopus, PubMed e repositórios institucionais (UFF, UFRJ, UERJ, PUC-Rio, USP, UnB), com buscas priorizando estudos de geologia, sedimentologia, geoquímica ambiental, ecotoxicologia e temas correlatos aplicados às bacias hidrográficas drenantes para as três baías.
- Institucional - por meio da análise dos Planos de Bacia Hidrográfica (RH I, II e V), Planos Estaduais de Recursos Hídricos e relatórios de monitoramento ambiental mediante busca na rede e consulta aos acervos digitais e físicos na biblioteca do Inea.
- Geoespacial - cartografia temática para identificação das camadas vetoriais e matriciais a partir de portais governamentais como GEOInea, MP em Mapas, Portal de Mapas AGEVAP, além de instituições federais como Ministério do Meio Ambiente e Agência Nacional de Águas, Ministério das Minas e Energia, entre outros.

  Os mapas vetoriais obtidos possibilitaram definir a hidrografia em diferentes escalas: micros, sub e bacias hidrográficas; Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP); regiões hidrográficas (RH); território municipal e infraestrutura associada à malha viária e uso da terra em áreas urbanas, industriais e agrícolas, para citar as mais importantes.

Para assegurar a fidedignidade das informações dispostas nos diagnósticos à realidade das regiões estudadas, foram aplicados os seguintes critérios:

- atualidade - prioridade para a utilização de documentos publicados ou atualizados nos últimos 20 anos, buscando assegurar que a

caracterização socioeconômica reflita e apresente os principais vetores de pressão antrópica.

- triangulação de fontes – para comparar os dados oficiais (governamentais) e científicos (acadêmicos) e identificação de eventuais divergências de informações.

  Quando constatadas, identificação de novas fontes bibliográficas para esclarecimento, sempre que possível;
- rastreabilidade - registro de metadados, incluindo URLs de acesso, datas de consulta, órgãos emissores e versões de planos setoriais, permitindo a auditabilidade do processo de coleta;
- consistência espacial - respeitando a validação das delimitações hidrográficas e administrativas adotadas pelos órgãos governamentais para assegurar que os indicadores socioeconômicos pudessem, idealmente, ser agregados respeitando os limites das bacias e sub-bacias.

Os resultados obtidos pelas atividades descritas referem-se a:

- tabelas sintéticas por região hidrográfica apresentando os municípios, rede hidrográfica, área, população e principais atividades econômicas, principalmente;
- inventário de camadas geoespaciais apresentando hidrografia, limites de bacias, características geológicas, geomorfológicas, climáticas, pedológicas, dentre outras.

Os entraves metodológicos estiveram afeitos à impossibilidade de acesso a bases de dados restritas, como, por exemplo, sistemas internos de licenciamento e outorga, como SLAM e Procon Água, do Instituto Estadual do Ambiente (Inea). Bem como ao Cadastro de Indústrias da Federação de Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), considerado limitador de acesso à informação primária.

Para mitigar essa lacuna, foram buscadas outras fontes de dados para extração de informações correlatas no IBGE, Ministério de Minas e Energia, Receita Federal, entre outras. Com essa ação, foi assegurado que a ausência de dados do cadastro das atividades industriais, do licenciamento ambiental e do Procon Água não inviabilizasse a caracterização qualitativa da contribuição das atividades

industriais e urbanas nas regiões hidrográficas.

3.3. Identificação das principais fontes antropogênicas com potencial de aportar metais pesados nas regiões hidrográficas e baías

A identificação das potenciais fontes antropogênicas de metais pesados nas regiões hidrográficas RH V - Baía de Guanabara, RH II – Guandu/Baía de Sepetiba e RH I - Baía de Ilha Grande foi realizada mediante abordagem documental, bibliográfica e geoespacial.

Para tanto, foram utilizadas informações oficiais e setoriais provenientes de cadastros de órgãos públicos, planos de recursos hídricos, relatórios técnicos e inventários de atividades econômicas, seguidos de geocodificação e análise espacial por bacias hidrográficas em cada RH.

A principal finalidade desta etapa de trabalho foi a produção de um inventário espacial de atividades e empreendimentos com potencial de geração de efluentes, resíduos ou emissões contendo metais pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn). E o passo subsequente foi a integração de informações para avaliar a contaminação do sedimento das três baías estudadas por esses poluentes a partir das fontes representadas pelas atividades identificadas.

3.3.1. Triagem e Classificação de Atividades Econômicas (CNAE e CNPJ)

Para a identificação dos setores econômicos e a seleção daqueles caracterizados como fontes potenciais de metais pesados, tendo em conta a impossibilidade de obtê-los junto ao Inea e FIRJAN, foram obtidos dados públicos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), relacionados a empreendimentos da cadeia de óleo e gás, como, por exemplo, postos de combustíveis e revendas de gás liquefeito de petróleo (GLP).

A constatação de 6.219 registros de empreendimentos ativos e inativos dessa cadeia produtiva nas três regiões hidrográficas evidenciou que as informações disponíveis nos Planos de Bacia e no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH-RJ) estavam significativamente subestimadas.

Diante da similaridade dos códigos da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) observada nos registros da ANP, procedeu-se à consulta

sistemática à página da Comissão Nacional de Classificação (CONCLA).

Após constatar que a CNAE era a taxonomia oficial dos empreendimentos, negócios e atividades econômicas, incluindo serviços públicos, no Brasil, identificou-se, a partir desse código, a possibilidade de identificar os empreendimentos de interesse.

Nesta etapa, realizou-se a triagem da estrutura completa da classificação (Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses), adotando-se a subclasse como unidade operacional, pelo fato de refletir a atividade econômica de interesse e identificar as fontes potenciais de metais pesados decorrentes dos respectivos e específicos processos produtivos.

O critério de seleção das subclasses baseou-se em evidências bibliográficas recuperadas nas bases Scopus e PubMed. Para tanto, utilizaram-se combinações de descritores relativos aos setores econômicos e aos metais pesados ou elementos traço, em português e inglês.

Para assegurar a consistência terminológica internacional, empregou-se a correspondência conceitual da CNAE com o North American Industry Classification System (NAICS). Como resultado, as subclasses foram identificadas como "fontes potenciais" quando a literatura indicava explicitamente a associação da atividade com o uso de metais como matéria-prima ou insumo. Bem como sua presença em emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos gerados decorrentes do processo produtivo utilizado.

Definidas as subclasses prioritárias, consultou-se o Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ), da Receita Federal, para localizar as empresas situadas nos municípios de interesse. Os registros obtidos continham, além dos dados cadastrais do empreendimento, os códigos CNAE necessários para o posterior agrupamento ou segregação das informações.

3.3.2. Elaboração de mapas temáticos e análise geoespacial

A constatação de que alguns municípios incluídos no rol de pesquisa estão apenas parcialmente inseridos no território das RHs facultou concluir que o recorte municipal, inicialmente adotado, superestimaria o número de empreendimentos.

Para mitigar esse viés, os dados selecionados via CNAE e, posteriormente,

CNPJ foram geocodificados e convertidos para o formato .kml, para importação e manuseio em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) por meio do software Quantum GIS (QGis).

A plotagem das sedes dos empreendimentos se deu sobre base cartográfica com arquivos vetoriais (shapefiles) de hidrografia, microbacias, bacias hidrográficas, Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs), limites das regiões hidrográficas (RHs), uso e cobertura da terra, dentre outros disponíveis no repositório SIGA ÁGUAS (AGEVAP, 2020).

Foram testadas diferentes escalas e camadas para determinar a representação mais adequada do fenômeno objeto de atenção. Optou-se pela configuração a seguir para a elaboração dos mapas temáticos:

- hidrografia em escala 1:50.000: por apresentar a melhor relação entre densidade de informação e clareza visual;
- bacias hidrográficas: como unidade principal de recorte e análise espacial; e
- limites das regiões hidrográficas: como delimitadores da área de estudo.

A quantificação dos empreendimentos por bacia foi realizada por operações de sobreposição espacial, associando o ponto geocodificado ao polígono da bacia correspondente. Procedimento que possibilitou controlar o vício espacial do recorte municipal e produzir tabelas quantitativas por Seção, Divisão e Subclasse CNAE em cada bacia hidrográfica das três RHs.

3.3.3. Procedimentos adicionais adotados para atenuação das imprecisões no mapeamento realizado

Para a plotagem nos mapas, as atividades econômicas foram segregadas, sempre que possível, em dois compartimentos:

- atividades realizadas em terra: abrangendo a área emersa drenante para cada baía; e
- atividades realizadas no espelho d'água ou substrato: incluindo transporte marítimo, dragagem, pesca, maricultura e atividades náuticas, entre outras, muitas delas não abarcadas pelos instrumentos

de controle ambiental.

Adicionalmente, ressalta-se como limitação metodológica que o endereço cadastral no CNPJ refere-se à sede administrativa e não necessariamente ao local de operação.

Tal distinção é crítica para atividades espacialmente extensas (agricultura, saneamento, transporte) ou tipicamente aquáticas (dragagem, transporte marítimo, pesca, atividades náuticas).

Nesses casos, a informação foi tratada como indicativa, sendo sujeita a validações posteriores por meio de análise espacial cruzada com mapas de uso e cobertura da terra, infraestrutura setorial e produção de dados primários.

3.4. Avaliação da variabilidade espaço-temporal das concentrações dos metais pesados no sedimento das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande

A variabilidade espaço-temporal das concentrações de metais pesados nos sedimentos superficiais das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande foi elaborada a partir do banco de dados geoquímico, previamente atualizado e complementado.

As ferramentas utilizadas compreenderam análises espaciais e temporais independentes, seguidas de interpretação integrada.

3.4.1. Análise espacial

A variabilidade espacial das concentrações de metais no sedimento de cada baía foi avaliada por meio de mapas temáticos decadais com as mesmas séries temporais utilizadas para a elaboração dos gráficos Box plot.

Como o volume de dados era elevado, em decorrência do elevado número de pontos de coleta distribuídos no período considerado, optou-se por não interpolar os resultados para impedir a perda de precisão e resolução espacial.

Adicionalmente, procedeu-se à classificação das concentrações de cada ponto de coleta em classes qualitativas, representadas por cores padronizadas, com base em valores de referência ambientais, Quadro 3, com exemplo para a legenda do mapa apresentando a concentração de cádmio (Cd) na Baía de Guanabara.

Quadro 3. Escala e legenda para a avaliação da concentração de cádmio (Cd) no sedimento de fundo da Baía de Guanabara, considerando: nível de base, sedimento com presença de metal pesado, Nível 1 e Nível 2, Resolução CONAMA 454/12. Fonte: CONAMA (2012).

Concentração de Cádmio (Cd) no sedimento (ppm) na Baía de Guanabara	
0 – 0,75	Nível superior do Nível de Base (NB) – (NB + Desvio Padrão)
0,751 – 1,19	Sedimento com possível influência antropogênica
1,20 – 7,19	Nível 1 Res. CONAMA 454/12
7,20 e acima	Nível 2 Res. CONAMA 454/12

Para cada metal, foram definidas quatro classes:

- **nível de base (NB**): concentração correspondente ao background acrescido do erro padrão, interpretada como representativa de condições pristinas, sem influência antropogênica significativa;
- **Intervalo acima do nível de base (NB) e abaixo do Nível 1 (CONAMA 454/2012)**: faixa indicativa da presença do metal pesado, em concentração superior ao background, ou nível de base, da região, pressupondo contribuição antropogênica e contaminação do sedimento;
- **Intervalo com início no limite do Nível 1 e término antes do Nível 2 (CONAMA 454/2012)**: concentrações associadas à mediana probabilidade de efeitos adversos à biota em bioensaios;
- **Igual ou acima do Nível 2 (CONAMA 454/2012)**: concentrações com maior probabilidade de efeitos adversos à biota, demandando atenção quanto a risco ambiental e medidas de gestão, conforme disposto na referida resolução.

O nível de base (NB) foi obtido a partir de valores de background reportados na literatura para cada baía. Quando disponível, foi acrescido do erro padrão como limite superior do intervalo com o background, ou nível de base, retratando as condições originais de cada ambiente. Concentrações acima desse limite foram consideradas indicadoras de aportes antropogênicos.

Essa classificação permitiu a padronização da leitura espacial entre diferentes décadas e entre as três baías, assegurando comparabilidade visual, temporal e regional.

3.4.2. Análise temporal

As séries históricas de dados para cada baía fluminense referem-se aos anos:

- Baía de Guanabara – de 1980 a 2002;
- Baía de Sepetiba – de 1980 a 2022;
- Baía de Ilha Grande – de 2001 a 2013.

A análise temporal do conjunto de dados para as baías foi realizada mediante o agrupamento das amostras por décadas, condicionadas à disponibilidade e consistência dos dados de cada uma delas:

- Década de 1980 – de 1980 a 1989;
- Década de 1990 – de 1990 a 1999;
- Década de 2000 – de 2000 a 2009;
- Década de 2010 – de 2010 até o último ano de coleta igual ou anterior a 2019; e
- Década de 2020 – de 2020 até 2022.

Os resultados foram totalizados por décadas para possibilitar avaliações e identificação de tendências temporais a partir dos resultados disponíveis.

Para representar a distribuição estatística dos dados ao longo do tempo, foram elaborados gráficos do tipo Box plot por meio do software PAST – Paleontological Statistics, versão 5.1 (Hammer, Harper & Ryan, 2001).

A adoção do gráfico Box plot se deu por assegurar:

- visualização da mediana e dos quartis;
- avaliação da dispersão dos dados;
- identificação de assimetria na distribuição;
- detecção de valores discrepantes (outliers).

Essa abordagem possibilitou comparar a variabilidade intra e interdecadal das concentrações, reduzindo a influência de valores extremos isolados na interpretação das tendências.

E, para possibilitar comparação entre os resultados dispostos nos gráficos, foi adotado, para os dados das três baías, o início e final da série temporal abarcando o maior período de coleta existente, entre 1980 e 2022. Mesmo para a Baía de Ilha Grande, com menor conjunto de dados coletados apenas entre 2000 e

2010.

Além de ter fixado a escala vertical, referente à concentração de cada metal, com os mesmos valores máximos, também para permitir a comparação dos resultados tanto ao longo do tempo como em relação à concentração apresentada.

3.4.3. Integração espaço-temporal

As análises espaciais e temporais foram inicialmente elaboradas independentemente. Posteriormente, foram integradas para interpretação conjunta dos padrões de distribuição, evolução histórica e áreas críticas de acumulação.

A geração de índices geoquímicos (por exemplo, fator de enriquecimento ou índice de geoacumulação) foi prevista. Porém, os valores disponíveis nos bancos de dados, muitas vezes considerados como anômalos, seja devido a diferenças de métodos analíticos, ausência de parâmetros de normalização, erro de digitação ou mesmo de conversão de dados, contraindicam, na presente fase, a análise comparativa desses indicadores.

Optou-se, portanto, por privilegiar a análise descritiva padronizada e comparável entre décadas e baías, evitando inferências potencialmente carregadas de vícios.

3.5. Descrição dos instrumentos legais focados na introdução e controle de metais pesados no sedimento das baías fluminenses com vistas ao aprimoramento de políticas públicas

A identificação e a análise dos instrumentos legais e infralegais aplicáveis à gestão de metais pesados nos sedimentos das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande se deram mediante abordagem qualitativa e fundamentada em pesquisa documental sistemática.

O fito consistiu em identificar, registrar, organizar e interpretar os marcos normativos e institucionais relacionados à gestão costeira, à gestão de recursos hídricos e às políticas ambientais correlatas, inclusive compromissos internacionais assumidos pelo Brasil, com vistas a subsidiar o aprimoramento de políticas públicas focadas no controle e descontaminação de metais pesados em sedimento costeiro.

3.5.1. Procedimentos metodológicos e fontes documentais

A pesquisa documental abrangeu normas jurídicas, planos, diretrizes, resoluções, relatórios institucionais e demais documentos oficiais publicados entre 1890 e 2025, com ênfase no período posterior à instituição da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM), em 1980, do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), em 1988, e da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), em 1997.

Foram consultadas fontes primárias disponíveis em:

- portais oficiais do Poder Executivo Federal, incluindo o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, o Ministério da Marinha e órgãos vinculados, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- órgãos da administração pública responsáveis pela gestão patrimonial e territorial, como a Secretaria do Patrimônio da União (SPU), ligada ao Ministério da Gestão e da Inovação em Serviços Públicos;
- instituições do Ministério Público e da Procuradoria da República, quando relacionadas à tutela ambiental;
- órgãos do Poder Executivo Estadual do Rio de Janeiro com competência em gestão ambiental e recursos hídricos;
- documentos arquivados fisicamente pelo autor da tese desde o início da década de 80, sempre passíveis de verificação de autenticidade e origem institucional.

A seleção dos documentos considerou os seguintes critérios:

- pertinência temática - instrumentos normativos direta ou indiretamente relacionados à contaminação de sedimento por metais pesados na região costeira, dragagem, disposição de material dragado, poluição ambiental e controle de poluentes, gerenciamento costeiro, gestão de recursos hídricos, zona econômica exclusiva e saúde pública, entre outros tópicos correlatos complementares;
- hierarquia normativa - priorização de dispositivos constitucionais, leis federais e estaduais, decretos regulamentadores e resoluções de

conselhos ambientais federais e estaduais;

- aplicabilidade territorial - normas com incidência direta sobre as águas doces, salobras e salinas e seus ambientes costeiros e estuarinos fluminenses correlatos;
- atualidade e vigência – considerando a situação normativa, se vigente, alterada ou revogada.

3.5.2. Procedimentos para análise

A análise documental foi orientada por linhas de abordagem complementares:

- Gestão Costeira: considerando a Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM), o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Lei nº 7.661/1988) e suas atualizações, incluindo instrumentos derivados;
- Gestão de Recursos Hídricos: com base no histórico e no contexto que culminaram na promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e seus desdobramentos no estado do Rio de Janeiro;
- normas específicas: voltadas para poluentes, metais pesados e sedimento em corpos d'água, incluindo resoluções do CONAMA, com destaque para a Resolução nº 454/2012, que estabelece critérios para a avaliação da qualidade de sedimentos e diretrizes para a disposição de material dragado em águas jurisdicionais nacionais.

Ao considerar esse enquadramento, procedeu-se à identificação das competências institucionais, dos instrumentos de comando e controle, dos mecanismos de monitoramento e dos dispositivos que estabelecem padrões ou limites de qualidade aplicáveis à concentração de metais pesados no sedimento.

Buscando, ainda, identificar lacunas regulatórias, sobreposições de competência e fragilidades na integração entre políticas públicas setoriais, especialmente na interface entre gestão costeira e gestão de recursos hídricos e os níveis federal e estadual.

Para assegurar a consecução das atividades propostas nessa seção, foram adotados os seguintes critérios:

- rastreabilidade normativa – assegurada por meio do registro das referências legais (número, ano, órgão emissor e situação de vigência);
- análise contextual – realizada mediante a interpretação das normas à luz de seu contexto histórico e institucional, evitando incorrer em leitura descontextualizada;
- coerência institucional – verificada por meio da articulação entre diferentes instrumentos legais, especialmente quanto à repartição de competências federativas; e
- atualização normativa – identificando eventuais alterações legislativas ou substituições por normas posteriores.

4. RESULTADOS

O ser humano só terá condições de fazer frente aos problemas ambientais criados pela sociedade quando deixar de pensar como indivíduo e passar a agir como espécie.

Enzo Tiezzi,
Tempos Históricos, Tempos Biológicos, 1988.

4.1. Metais pesados no sedimento de fundo de ambientes costeiros

Esta seção descreve o significado do termo "metal pesado", diferencia as fontes autogênicas (naturais) das fontes antropogênicas (decorrentes das atividades humanas), apresenta os modos de introdução no meio, se por foco pontual ou fonte difusa, enumera as principais características dos metais pesados considerados no estudo e suas relações com os seres vivos, espécie humana e saúde pública, ressaltando o papel do sedimento como receptor, acumulador e indicador da concentração desses elementos químicos em ecossistemas costeiros.

Metais são substâncias com elevada condutividade elétrica, maleabilidade e brilho, capazes de perder voluntariamente seus elétrons para formar cátions. Naturalmente presentes em diferentes composições na crosta da Terra, com concentrações que variam espacialmente na dependência das características do metal considerado, do embasamento rochoso e de diversos fatores ambientais, podem ser encontrados na crosta terrestre na forma de óxidos, sulfetos, sulfatos, fosfatos, silicatos, carbonatos, além de matrizes orgânicas diversas. Muitos deles têm consequências nocivas nos processos nutricionais e evolutivos dos organismos vivos e dos ecossistemas (Jaishankar et al., 2014a; Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021; Morais; Costa; Pereira, 2012).

Historicamente, o termo "metal pesado" tem sido utilizado, no contexto das ciências ambientais e da química, para denominar o grupo de elementos metálicos que ocorre naturalmente na natureza em baixas concentrações, tipicamente menor que 1 mg/kg, incluindo alguns elementos de transição situados na coluna D da Tabela Periódica dos Elementos (Gustin; Hou; Tack, 2021). Todos esses elementos, agrupados na forma elemental "pesado", contrastam com os metais "leves", como o alumínio (Al) e formas metálicas dos alcalinos e alcalinos terrosos.

Em geral, considera-se como metais pesados aqueles elementos com densidade específica maior que 5 g/cm^3 e incluem o arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e tálio (Tl), de acordo com Ming-Ho (2012); Morais; Costa; Pereira (2012).

4.1.1. Fontes autogênicas de metais pesados

As fontes autogênicas, ou naturais, de metais pesados referem-se àquelas que, imanentes aos processos geológicos de evolução da Terra, são responsáveis pela liberação, absorção e ciclagem de traços de metais nos compartimentos atmosféricos, aquáticos e terrestres, incluindo a biosfera.

Os principais agentes responsáveis pela introdução de metais pesados na superfície da Terra decorrem da lixiviação das rochas e solo, intemperismo, erupções vulcânicas (Pb, Zn, Cu, Cd, Cr, Fe e Al), atividades sísmicas e fontes hidrotermais, dentre outras, além da decomposição da matéria orgânica vegetal, principalmente em áreas contaminadas (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

A crosta terrestre é constituída por mais de 95% de rochas ígneas (onde se incluem as rochas metamórficas) e 5% de rochas sedimentares. Destas, cerca de 80% são caracterizadas como xisto, 15% por arenitos e 5% por rochas calcárias, além de sedimento, fina camada presente principalmente sobre os continentes e superposta às rochas ígneas, das quais é derivada (He; Yang; Stoffella, 2005).

Dentre as rochas ígneas, as basálticas tendem a apresentar altas concentrações de Cu, Zn e Cr, enquanto Ni, Cu, Zn, Co e Mn ocorrem, principalmente, na fração mais facilmente intemperizada dessas rochas, como augita, hornblenda e olivina, Quadro 4.

Já as rochas sedimentares, Quadro 4, constituídas por material resistente ao intemperismo, costumam apresentar pequenas quantidades de metais-traços (He; Yang; Stoffella, 2005).

O xisto, Quadro 4, graças à constituição por sedimento de origem orgânica e inorgânica, apresenta elevadas concentrações de metais pesados, incluindo Cu, Zn, Mn, Pb e Cd, podendo, como no caso do xisto negro, apresentar concentrações de Cd superiores a 200 mg kg-1 (He; Yang; Stoffella, 2005).

Quadro 4: Intervalo de concentrações de metais e metaloides em rochas ígneas e sedimentares (mg kg^{-1}). Fonte: (He; Yang; Stoffella, 2005).

Elementos	Rochas ígneas basálticas	Rochas ígneas graníticas	Xistos e argilas	Calcários	Arenitos
As	0,2–10	0,2–13,8	1–17	0,1–8,1	0,6
Cd	0,006–0,6	0,003–0,18	0–11	0,1	0,1
Cr	40–600	2–90	30–590	10,0	35,0
Co	24–90	1–15	5–25	0,1	0,3
Cu	30–160	4–30	18–120	4,0	2,0
Hg	0,002–0,5	0,005–0,4	0,005–0,51	0,01–0,22	0,001–0,3
Pb	2–18	6–30	16–50	9,0	01–31
Mo	0,9–7	1–6	2,5	0,4	0,2
Ni	45–410	2–20	20–250	20,0	2,0
Se	0,05–0,11	0,05–0,06		0,1	0,1

O solo, desenvolvido a partir do regolito intemperizado de diferentes tipos de rocha fonte, tende a refletir a composição química das rochas mãe, ainda que, em razão do processo pedogênico, as relações entre os constituintes costumem ser alteradas.

Solos arenosos derivados do intemperismo do arenito e solos originados de rochas ígneas ácidas intemperizadas, como riolitos e granitos, tendem, como regra, a conter baixas concentrações de metais pesados como Cu, Zn e Co.

Já as rochas sedimentares constituídas por sedimento com pequena granulometria, como argilas e xistos originados de rochas ígneas, por outro lado, costumam apresentar maior importância na disponibilização de metais pesados (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

A contribuição autogênica global de cinco metais pesados – Cd, Cu, Ni, Pb e Zn - considerando o papel exercido pelos aerossóis e exsudados por cada tipo de fonte (Nriagu, 1979), é apresentada no Quadro 5, ressalvando as incertezas associadas a tão complexas estimativas para alcançar os valores apresentados.

Incêndios florestais e sprays marinhos contribuem com aproximadamente 10% dos metais pesados que chegam à atmosfera. Já a desgaseificação natural das rochas, embora tenha sido apontada por Nriagu (1979) como uma fonte potencialmente relevante de metais- traço, ainda requer avaliação mais aprofundada e quantificação adequada.

Quadro 5. Estimativa dos fluxos e emissões globais de metais pesados a partir de fontes naturais, ou autogênicas. Fonte: adaptado de NRIAGU (Nriagu, 1979).

Fonte	Fluxos globais anuais (x10^6 kg)			Emissões globais anuais (x10^6 kg)														
				Cd			Cu			Ni			Pb			Zn		
	Média	Min	Max	Média	Min	Max	Média	Min	Max	Média	Min	Max	Média	Min	Max	Média	Min	Max
Poeira atmosférica	500.000	1.000	1.100.000	0,100	0,001	0,22	12	0,14	26	20	0,24	44	16	0,19	35	25	0,3	55
Incêndios florestais	36.000	6.000	200.000	0,012	0,001	0,07	0,3	0,025	1,7	0,6	0,05	3,3	0,5	0,04	2,8	2	0,18	12
Partículas vulcanogênicas	10.000	2.000	150.000	0,520	0,3	7,8	3,6	2,3	5,4	3,8	2,4	56	6,4	4,2	96	7	4,6	105
Vegetação	75.000	6.500	1.000.000	0,200	0,2	2,7	2,8	2,5	33	1,6	1,6	21	1,6	1,6	21	9,4	9,4	125
Spray marinho	1.000.000	75.000	2.000.000	0,001	-		0,08	0,02	0,2	0,04	0,01	0,08	0,02	0,01	0,05	0,01	0,004	0,02
Total emissões autogênicas	**1.621.000**	**90.500**	**4.450.000**	**0,8**	**0,5**	**10,8**	**18,8**	**5,0**	**66,3**	**26,0**	**4,3**	**124,4**	**24,5**	**6,0**	**154,9**	**43,4**	**14,5**	**297,0**

Partículas intemperizadas do regolito respondem por ~60 a 80% do Cu, Pb, Ni e Zn (mas somente ~6% do Cd) presentes no meio.

A contribuição das emissões vulcânicas, incluindo as fontes hidrotermais, responde por cerca de 60% do Cd e reflete o atípico e anormalmente elevado teor presente nos aerossóis vulcanogênicos, contrapondo-se à contribuição que representa cerca de 15 a 20% dos demais metais pesados presentes na superfície da Terra (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021; Nriagu, 1979).

Exsudatos vegetais contribuíram como importante fonte de metais no período pré-Mesolítico e, de acordo com estudos realizados, mantêm-se atualmente como grandes responsáveis pela introdução de Zn na atmosfera terrestre (Nriagu, 1979).

Nas regiões costeiras, os fatores naturais, ou autogênicos, que podem afetar o movimento de nutrientes inorgânicos, incluindo metais pesados, e matéria orgânica são expressos por fluxos geológicos, geoquímicos e biogeoquímicos.

Esses fluxos tendem, prioritariamente, a se dar no sentido terra → oceano, com a ressalva de que, em algumas situações, o sentido é revertido, como apresentado no Quadro 6.

Quadro 6. Fluxos naturais de matéria e energia do continente para o oceano e do oceano para o continente. Fonte: adaptado de Hassan; Scholes; Ash (2005); Kjerfve et al. (2002).

Continente → Oceano	Oceano → Continente
Água e drenagem continental	Energia e sedimento gerados por tempestades
Água subterrânea	Águas frias e nutrientes associados às ressurgências
Solo e sedimento	Ação das ondas
Nutrientes	Aerossóis e sal
Metais pesados	Sedimento
Ácidos húmicos e orgânicos	Nutrientes a partir de carcaças, guano e matéria orgânica
Sedimento produzido por tempestades	
Sedimento gerado por movimentos tectônicos	
Sedimento aportado por vulcanismo	

4.1.2. Fontes antropogênicas de metais pesados

Com relação às fontes antropogênicas de metais, as primeiras contribuições decorrem da domesticação do fogo, como demonstra a deposição de pequenas quantidades de metais-traços, decorrentes da queima de madeira em cavernas ocupadas por seres humanos, cujas concentrações são maiores que os níveis originais de base, ou background (Nriagu, 1996).

Com a descoberta e manuseio dos metais por nossos antepassados, o início das atividades de mineração e desenvolvimento de técnicas de fundição a constituir as atividades metalúrgicas, foi iniciado o ciclo congregando metais, poluição por metais pesados e história humana que, uma vez estabelecido, nunca mais foi rompido (Nriagu, 1996).

Ao longo do Império Romano, estima-se que quantidades significativas, senão impressionantes, de metais pesados foram utilizadas. Especialmente chumbo (Pb), entre 80 e 100 x 10^3 ton/ano, cobre (Cu), 15 x 10^3 ton/ano, zinco (Zn), 10 x 10^3 ton/ano e mercúrio (Hg), >2 x 10^3 ton/ano, além de estanho (Sn), insumo necessário nos processos metalúrgicos, fundamentais para a manutenção de elevado padrão de vida da população à época.

Ainda que as minas fossem operadas em pequena escala, a fundição de grande quantidade de minério pelo fogo em diversas unidades de produção, mesmo que em ambientes abertos, resultou na continuada emissão de substanciais quantidades de metais pesados na atmosfera (Nriagu, 1996).

Tais emissões atmosféricas de metais tóxicos podem ter sido suficientemente intensas para despertar a atenção de autoridades e pesquisadores a ponto de, infere-se, interditar as operações de mineração nas proximidades de antigas cidades na Itália (Nriagu, 1996).

Corrobora tal afirmação a análise do gelo depositado na Groenlândia, que possibilitou reconstituir, a partir da análise de testemunhos, as características atmosféricas pretéritas, associadas a diferentes momentos da história humana. E, em conjunto com dados disponíveis na literatura, estimar a produção de cobre (Hong et al., 1996) ao longo da história dos seres humanos, como demonstrado pela Figura 2.

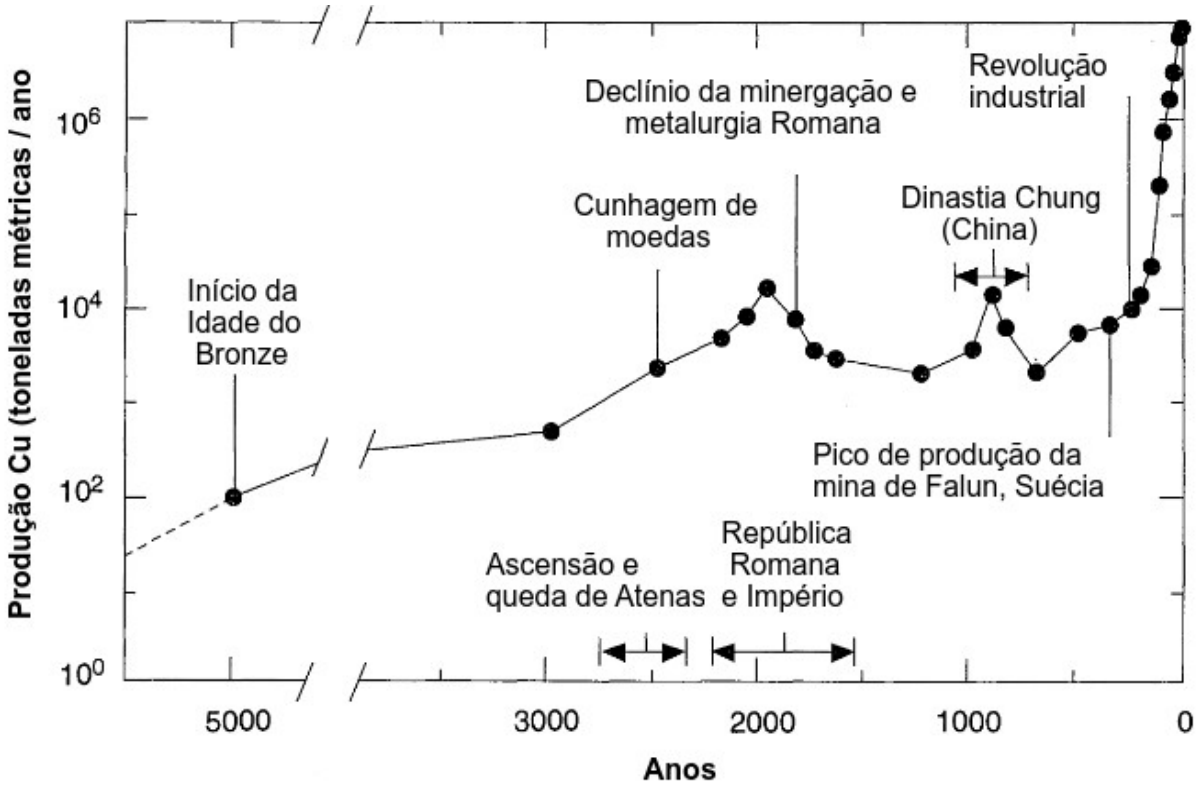


Figura 2. Produção de cobre ao longo dos últimos 5.000 anos, reconstruída a partir de análises químicas do gelo em diferentes profundidades presente na Groenlândia, com a literatura disponível. Fonte: Hong et al. (1996).

A estimativa do consumo e de emissões antropogênicas globais de metais pesados ao longo do tempo é observada no Quadro 7.

Quadro 7. Consumo e emissão global antropogênica de metais pesados. Fonte: adaptado de Nriagu (1996).

Período	Consumo global de metais pesados (x10^6 kg)					Emissões globais de metais pesados (x10^6 kg)				
	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Pré 1850		45.000		55.000	50.000	63,0	319		2.420	2.804
1850 – 1900		13.000	200	25.000	15.000	19,0	92	12,0	1.100	841
1901 – 1910		7.500	140	10.700	7.000	8,9	53	8,2	471	392
1911 – 1920	1	11.300	350	11.200	8.800	11,0	80	21,0	493	493
1921 – 1930	7	13.500	360	14.200	11.100	14,0	96	21,0	1.120	622
1931 – 1940	26	16.300	830	14.600	13.300	17,0	116	49,0	1.639	746
1941 – 1950	48	23.800	1.370	14.900	17.100	22,0	169	80,0	1.672	959
1951 – 1960	84	32.400	2.380	24.000	27.000	34,0	230	140,0	2.694	1.514
1961 – 1970	140	61.400	4.370	33.000	42.300	54,0	435	257,0	3.704	2.372
1971 – 1980	150	82.500	7.070	38.000	58.000	74,0	585	415,0	4.265	3.252
Total	**456**	**306.700**	**17.070**	**240.600**	**249.600**	**317**	**2.175**	**1.003**	**19.578**	**13.995**

Como esperado, o acentuado aumento das emissões de metais antropogênicos na atmosfera, ao longo das décadas do século XX, é consistente com taxas históricas de deposição de metais pesados no gelo polar do hemisfério

norte. Tal situação não está constatada no gelo do hemisfério sul demonstrando que a maior parcela das emissões se deu na porção setentrional da Terra.

No que respeita a Pb, Cu e Zn, a estimativa da produção e emissão para a atmosfera entre 1850 e 1990 pode ser visualizada na Figura 3.

As principais fontes antropogênicas, e respectivas emissões, de metais pesados estimadas para 1975 são apresentadas no Quadro 8.

Já a produção de metais pesados entre 1973 e 2010, a partir de dados mais atualizados, pode ser vista no Quadro 9.

E a comparação das informações apresentadas nos Quadros 5 e 8, organizadas e sintetizadas no Quadro 10, demonstra, para o ano de 1975, que as contribuições antropogênicas excederam as autogênicas em uma ordem de magnitude, como no caso do Pb e Cd, enquanto que as emissões de Cu e Ni apresentaram, respectivamente, 300 e 200% de incremento.

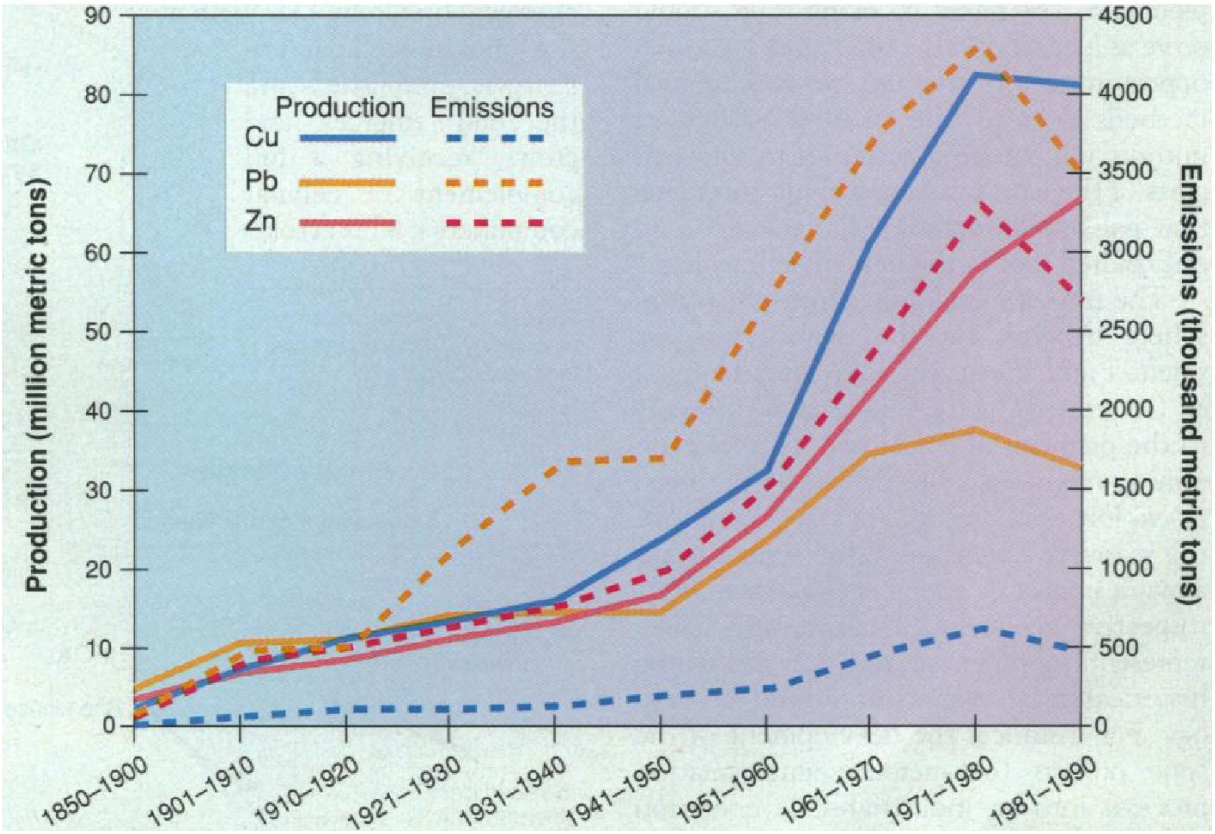


Figura 3. Comportamento da produção e emissão antropogênica de alguns metais pesados - Pb, Cu e Zn – na atmosfera, entre 1850 e 1990. Fonte: Nriagu (1996).

Quadro 8. Consumo e emissão global antropogênica de metais pesados no ano de 1975. Fonte: adaptado de Nriagu (1996).

Fonte	Produção ou consumo global anual (x10^6 kg)	Emissões globais anuais de metais (x10^6 kg)				
		Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Mineração de metais não ferrosos	16.000	0,002	0,8		8,2	1,6
Produção primária de metais não ferrosos						
Cd	1,7	0,11				
Cu	7.900	1,6	19,7	1,5	27	6,6
Pb	4.000	0,2	0,29	0,34	31	0,44
Ni	800			7,2	2,5	0,68
Zn	5.600	2,8	0,78	0,36	16	99
Produção secundária de metais não ferrrosos	4.000	0,6	0,33	0,2	0,77	9,5
Produção de ferro e aço	1.300.000	0,07	5,9	1,2	50	35
Aplicações industriais		0,05	4,9	1,9	7,4	26
Combustão do carvão	3.100.000	0,06	4,7	0,66	14	15
Combustão de óleo e gasolina	2.800.000	0,003	0,74	27	273	0,07
Combustão de madeira	640.000	0,2	12	3	4,5	75
Incineração de resíduos sólidos / lixo	1.500.000	1,4	5,3	3,4	8,9	37
Produção de fertilizantes fosfatados	118.000	0,21	0,6	0,6	0,05	1,8
Diversos					5,9	6,7
Total	**9.496.302**	**7,31**	**56,04**	**47,36**	**449,22**	**314,39**

Quadro 9. Produção minerária mundial de metais pesados e metaloides (em ton. do elemento, com exceção das ressalvas). Fonte: adaptado de Dama (2021).

Elementos	Símbolo	Anos			
		1973	1994	2004	2010
Arsênico	As	-	43,0	37,5	54,5
Cádmio * (46.5%)	Cd	-	17,2	18,1	22,0
Cromo * (46.5%)	Cr	-	9.570.000	17.000.000	22.000.000
Cobre	Cu	7.116.900	9.430.000	14.500.000	16.200.000
Chumbo	Pb	3.487.000	2.800.000	3.150.000	410.000
Manganês * (35-40%)	Mn	-	7.190.000	11.000.000	13.000.000
Mercúrio	Hg	9,3	1,8	1,8	2,0
Níquel	Ni	710	906	1.400.000	1.550.000
Estanho	Sn	234	184	250	261
Zinco	Zn	5.709.400	6.810.000	9.100.000	12.000.000

Quadro 10. Relação entre emissão de metais pesados autogênicos e antropogênicos na biosfera no ano de 1975. Fonte: adaptado de Nriagu (1979).

Fonte	Emissões globais anuais (x10^6 kg)				
	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Total emissões autogênicas	0,8	18,8	26,0	24,5	43,4
Total emissões antropogênicas	7,3	56,0	47,4	449,2	314,4
Razão entre as emissões antropogênicas e autogênicas	**876,95%**	**298,40%**	**181,87%**	**1.832,06%**	**724,23%**

As fontes antropogênicas de metais pesados estão associadas à fabricação, uso, desgaste e descarte de produtos manufaturados que contêm esses elementos na sua constituição. Metais pesados estão presentes na maior parte dos objetos manufaturados e combustíveis, dentre muitos outros tipos de matéria e energia utilizados para manutenção do metabolismo social dos seres humanos.

As principais atividades responsáveis pela introdução de metais pesados na atmosfera são representadas pela combustão de carvão mineral e linhito em usinas

termoelétricas e queimadores industriais, comerciais e residenciais, principalmente nos países frios, a configurar como principais fontes de Hg e Mo, além da importante contribuição de As, Cr, Mn, antimônio (Sb) e titânio (Ti) na atmosfera.

Adicionalmente, a combustão de óleo para os propósitos acima é a mais importante fonte de vanádio (V) e Ni, além de estanho (Sn).

A indústria de metais não ferrosos é responsável por grande contribuição de Pb (além da adição na gasolina, já em desuso), As, Cd, Cu e Zn.

E contribuiu com cerca de 43% do Zn e 67% do Cd lançados no meio a cada ano. No caso do chumbo e níquel, o uso de gasolina e diesel aditivados, prática já descontinuada, respondeu por cerca de 60%. A aplicação industrial, por 20% desses metais introduzidos, enquanto a indústria de ferro e aço se destaca pela notável emissão de Cr e Mn (Nriagu; Pacyna, 1988; Nriagu, 1979).

Em termos genéricos, as principais atividades responsáveis pela introdução de metais pesados no meio são representadas pela mineração; indústrias; sistema de transporte rodo, ferro, aero e aquaviário; manutenção mecânica, pintura e conservação de máquinas, equipamentos e veículos; além da construção e manutenção de imóveis, dentre muitas outras (Sörme; Lagerkvist, 2002).

Considera-se que, com o melhor conhecimento da constituição química dos produtos manufaturados, matérias-primas e insumos utilizados nas atividades econômicas, mais espécimes de metais pesados de fontes antropogênicas lançados no meio poderão ser identificados e mensurados (Sörme; Lagerkvist, 2002).

Em termos objetivos, grande variedade de estabelecimentos industriais e de serviços, entre outros tipos de empreendimentos econômicos, descartam metal(is) pesado(s) no ar, água ou solo.

No que se refere à água como insumo de atividades industriais, uma das principais aplicações se dá em sistemas de resfriamento industrial, quando pode ser contaminada por metais pesados.

Com relação aos sistemas aquáticos, incluindo os oceanos, a maior fonte de metais-traços são os efluentes domésticos (As, Cr, Cu, Mn e Ni), plantas termoelétricas à base de carvão (As, Hg e Se, principalmente), fundições de metais não ferrosos (Cr, Mo, Sb e Zn), indústrias de ferro e aço (Cr, Mo, Sb e Zn) e despejo de lodo de esgoto (As, Mn e Pb), de acordo com Nriagu; Pacyna (1988).

Com a ressalva de que a atmosfera é a principal rota de entrada de Pb no sistema aquático, como já muito bem documentado na literatura (Nriagu; Pacyna, 1988).

Caso se admita que somente 25% dos efluentes industriais destinam-se a corpos receptores lóticos, rios, e lênticos, lagos (com volume aproximado de 1,3 x 10^{16} l), a concentração média nessas águas pode ser incrementada, a cada ano, em 90 ng l^{-1} para Hg, 180 ng l^{-1} para Cd, 800 ng l^{-1} para As, 2.200 ng l^{-1} para Cu e Ni, 2.500 ng l^{-1} para Zn e mais de 4.000 ng l^{-1} para Pb (Nriagu; Pacyna, 1988).

O background, ou nível de base, de metais pesados nas águas de lagos e rios não poluídos, por exemplo, é, geralmente, diversas vezes menor que os valores estimados no parágrafo anterior. Ou seja, a taxa de entrada de metais pesados industriais excede significativamente o nível basal desses metais nos rios e lagos, cujas condições físico-químicas são representativas para a Europa, América do Norte e alguns países da Ásia. Em decorrência, Nriagu & Pacyna (1988) assumem que a contaminação dos recursos hídricos pode ser muito mais severa do que comumente divulgado.

Este sério problema não havia sido adequadamente discutido, por ocasião da publicação citada, em decorrência de:

1. as bases de dados disponíveis são insuficientes para assegurar avaliação do grau de contaminação de muitos lagos e rios por metais pesados;
2. a curta meia-vida dos metais-traços na água – transferem-se rapidamente para o sedimento – tende a reduzir a contenção desses poluentes na coluna d'água e, consequentemente, a sua identificação e mensuração (Nriagu; Pacyna, 1988).

No que concerne ao solo, o maior receptor de metais pesados gerados por diversos tipos de atividades socioeconômicas, de acordo com as informações disponíveis, distingue-se como mais significativa a deposição de cinzas decorrente da combustão de carvão ou óleo por plantas termoelétricas, bem como resíduos sólidos de atividades industriais, comerciais e de serviços, mineração e processamento de minérios, além de atividades médicas e tecnológicas, produtos elétricos, eletrônicos e microeletrônicos; plásticos, têxteis, tintas e pigmentos, biocidas e produtos para preservação de madeira, além das atividades inerentes aos

agrupamentos urbanos, principalmente (Tchounwou et al., 2012).

Nriagu e Pacyna (1988) depreendem que as atividades humanas se tornaram o elemento mais importante na ciclagem biogeoquímica global dos metais pesados. A mobilização de metais-traços decorrentes das atividades antropogênicas na biosfera, incluindo as emissões terrestres mais as aquáticas subtraídas das contribuições atmosféricas, assume valores próximos a 120 x 10^3 ton/ano de As, 30 de Cd, 2.150 de Cu, 11 de Hg, 470 de Ni, 1.160 de Pb e 2.340 de Zn.

Anualmente, milhões de toneladas de “novos” metais-traços são gerados pelas atividades de mineração, no início do ciclo produtivo de bens, e subsequentemente distribuídos pela biosfera. O intenso e crescente aumento da circulação de metais tóxicos no ar, água e solos, bem como a inevitável transferência para a cadeia alimentar dos seres vivos, incluindo os humanos, desperta a atenção para importante preocupação ambiental acerca dos riscos à saúde dos seres humanos, incluindo aqueles desconhecidos para as futuras gerações (Nriagu; Pacyna, 1988).

A título de síntese, a movimentação das substâncias orgânicas e inorgânicas produzidas pela sociedade tende a ocorrer no sentido prioritário continente → oceano. Com alternância, algumas vezes, quando ocorre inversão do sentido, e passa a ser oceano → continente, Quadro 11.

Quadro 11. Fluxos antropogênicos de matéria e energia do continente para o oceano e do oceano para o continente. Fonte: adaptado de Hassan; Scholes; Ash (2005) e Kjerfve et al. (2002).

Continente → Oceano	**Continente ← Oceano**
Sedimento - aumento associado à intensificação do desmatamento e atividades agrícolas	Derrames de petróleo e substâncias químicas
Sedimento – diminuição devido à construções de barragens a montante	Poluição crônica por óleo e substâncias químicas
Efluentes e resíduos sólidos domésticos e drenagem urbana	Efluentes – águas cinzas e negras – de embarcações
Efluentes e resíduos sólidos de atividades industriais	Água de lastro com espécies exóticas
Efluentes e resíduos sólidos de atividades agropecuárias	Ressuspensão de sedimento contaminado devido ao tráfego de navios
Micro-organismos patogênicos	Salinização de água subsuperficial costeira por sobre-bombeamento de água
Biocidas	
Hidrocarbonetos – óleos e graxas	Hidrocarbonetos – óleos e graxas
Substâncias químicas	
Metais pesados	Metais pesados
Fármacos e disruptores endócrinos	
Radionuclídeos	Radionuclídeos

4.1.3. Modos de introdução de metais pesados no meio

Os metais pesados lançados no meio, tal qual os demais contaminantes e poluentes, podem se dar por meio de dois modos de lançamento: foco pontual e fontes difusas.

O termo **foco** ou **fonte pontual** diz respeito a qualquer fonte, ou ponto de contaminação, discernível, confinado, discreto, rastreável e mapeável, incluindo, mas não se limitando, a tubulação, vala, canal, túnel, conduto, poço, fissura limitada, operação de alimentação animal concentrada, embarcação ou estrutura flutuante a partir da qual poluentes são ou podem ser descarregados.

Como regra, as fontes antropogênicas decorrentes de atividades de mineração, desmatamento, terraplenagem e escavações, além de atividades industriais, dentre outras atividades tecnológicas que ocorrem em pontos fixos, são inseridas nesta classificação (EPA, 1993; Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

Fontes pontuais, a título de síntese, referem-se a descargas de águas, sejam efluentes ou resultado da drenagem, bem como emissões atmosféricas por meio de um tubo ou chaminé individualizados (Borgens, 2019).

Fonte difusa, ou **não pontual,** refere-se à contribuição ou conjunto de contribuições, ou atividades geradoras, decorrente da precipitação pluviométrica, escoamento e drenagem superficial, infiltração e percolação no solo, bem como alterações das características hidrológicas. Não apresentam definição precisa quanto ao local de origem, drenando amplas áreas geográficas até atingir rios, lagos, reservatórios e ambientes costeiros (EPA, 1993; Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

Em termos técnicos, uma fonte difusa é qualquer uma que não atenda à definição de fonte pontual (EPA, 1993).

As principais fontes de poluentes em fontes difusas estão associadas às cidades; construções civis; ruas, rodovias e pontes; aeroportos e sistemas de tratamento de esgotos por fossas; agricultura e florestamento; marinas e navegação de esporte e recreio, além de alterações de padrões hidrológicos de cursos d'água.

Podem resultar em efeito cumulativo quando ocorrem diferentes tipos de efluentes, como no caso de atividades agrícolas realizadas com substâncias químicas oriundas de corretivos de solo, fertilizantes, biocidas e água para irrigação.

Bem como a drenagem de águas pluviais urbanas contaminadas por diferentes tipos de substâncias químicas, como inseticidas, hidrocarbonetos e domissanitários, dentre outros, às quais somam-se gases expelidos por automóveis, restos de pneus, desgaste das vias de rolamento e das tintas das faixas de sinalização, ao longo de diferentes percursos e impactando significativa parcela das regiões onde ocorrem tais tipos de atividades (EPA, 1993; Borgens, 2019; Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

Ainda como fontes difusas, são considerados os locais de lançamento de efluentes municipais, industriais ou decorrentes da drenagem pluvial urbana de grandes regiões densamente povoadas em grandes cidades como Rio de Janeiro, Istambul, Mumbai, Hong Kong, dentre outras. Nessas situações, medidas e técnicas de controle para melhoria da qualidade das águas devem ser aplicadas (Bleninger, 2007).

A contaminação causada por esse tipo de fonte é de muito difícil tratamento, uma vez que não é identificável ou definida. Consequentemente, medidas mitigatórias para controlar focos difusos de poluição não são de fácil implantação ou podem não se mostrar viáveis em termos práticos.

Demonstra, portanto, grande desafio e exige procedimentos e mecanismos administrativos e de controle em perspectiva de longo prazo (Bleninger, 2007).

O intemperismo, processo natural presente na superfície da Terra desde seus primórdios, se insere também nesse tipo de contribuição para o ambiente, caracterizando-se como de difícil gestão e contenção (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

Independentemente do modo como poluentes e metais pesados são introduzidos no meio ambiente, as atividades geradoras podem ser classificadas em duas categorias principais: aquelas baseadas em áreas emersas (continentais) e aquelas realizadas diretamente na superfície ou no substrato dos corpos d’água costeiros.

As atividades realizadas na área emersa são aquelas às quais estamos acostumados e fazem parte da história e evolução dos seres humanos, colocando-se como as mais comuns.

Já as atividades realizadas na água, ainda que de indissociável importância

para a operação do sistema socioeconômico, costumam não demandar maior atenção de grande parte da população e, principalmente, órgãos governamentais responsáveis pela qualidade ambiental terrestre, aquática e costeira.

As atividades econômicas realizadas tanto em terra quanto no espelho d'água e substrato de ambientes estuarinos e costeiros são apresentadas no Quadro 12 a seguir, detalhando os principais subprodutos gerados por cada atividade, independentemente do modo de introdução dos poluentes, se pontual ou difuso.

Quadro 12. Tipos de atividades humanas sediadas em terra, forma de contribuição e principais substâncias poluentes que chegam às águas. Fonte: adaptado de Bleninger (2007); Borgens (2019); EPA (1993) e Masindi; Mkhonza; Tekere (2021).

Atividades / tipos de usos	**Modos de introdução de metais pesados no meio**		**Substâncias introduzidas**
	Em terra	**Na água**	
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	Pontual e difusa	Pontual e difusa	Agentes profiláticos, biocidas, compostos orgânicos diversos e persistentes (POPs), DBO, DQO, fármacos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs), macro, micro e nano p0olímeros diversos, matéria orgânica, metais pesados e semimetais, micro-organismos patogênicos, nutrientes, ácidos e bases, produtos químicos derivados, radionuclídeos naturais e antropogênicos, salinidade, sedimento contaminado ou não, temperatura
Indústrias extrativas	Pontual	Pontual e difusa	
Indústrias de transformação	Pontual	- (não se aplica)	
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	Pontual	Pontual e difusa	
Construção	Pontual e difusa	-	
Comércio de reparação de veículos automotores e motocicletas	Pontual	-	
Transporte e armazenagem	Pontual e difusa	Pontuale difusa	
Informação e comunicação	Pontual	-	
Atividades profisisonais, científicas e técnicas	Pontual	Pontual	
Adminstração pública, defesa e seguridade social	Pontual e difusa	Pontual e difusa	
Saúde humana e serviços sociais	Pontual	-	
Outras atividades de serviços	Pontual	-	

4.1.4. Metais pesados considerados no presente estudo

Os metais pesados considerados nesta contribuição são descritos a partir das suas características químicas, momento e maneira como foram descobertos, papel histórico no desenvolvimento da humanidade, formas de utilização, rotas de exposição, concentração nos tecidos e órgãos, além dos agravos à saúde decorrentes do contato ou ingesta de cada metal pesado.

4.1.4.1. Arsênio - As

Semimetal situado no Grupo 5A da tabela periódica, número atômico 33, concentração média de 2,1 ppm na crosta terrestre. É encontrado na forma metálica, em estado sólido e quebradiço, com coloração cinza-prateado brilhante, amarela ou preta (Element Collection, Inc, 2017).

Descoberto por volta de 1200, por Albertus Magnus, é onipresente em diversas substâncias e compartimentos da crosta da Terra. Forma compostos orgânicos e inorgânicos, é insolúvel em água, mas solúvel em ácidos e bases, reagindo com oxidantes e formando compostos tóxicos como a arsina e arsenetos (Greenwood; Earnshaw, 1989).

Historicamente, o arsênio era conhecido pelos egípcios e registrado em papiros como meio para dourar metais. Era conhecido também pelos gregos e pelos chineses, como descrito por Ts'ao Kan-Mu, por volta de 1500 d.C., ao longo da dinastia Ming, quando observou a toxicidade associada aos compostos de arsênio e mencionou seu uso como pesticidas em campos de arroz.

Foi utilizado em medicamentos para o tratamento de animais e seres humanos, além de aplicações em nutrição humana a partir do século XV.

Nos séculos XVIII e XIX, foi utilizado para o controle de pragas agrícolas, insetos, ratos, ervas daninhas e fungos, bem como na conservação de madeira, antes do desenvolvimento e disseminação de organoclorados e organofosforados.

É um poluente não encontrado naturalmente no meio e associado a diversas atividades humanas, apresentando maior concentração nas imediações de plantas industriais e áreas agrícolas.

Atualmente, é utilizado como conservante de peles de animais na taxidermia, na produção de pigmentos e corantes, vidros, semicondutores e ligas metálicas.

A população está exposta tanto à forma inorgânica como à orgânica do arsênio, podendo apresentar concentrações variáveis em diversos tipos de alimento. A principal via de contaminação se dá pelo consumo de pescado, por apresentar, ao comparar com outros tipos de alimento, altas concentrações da fração orgânica (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007).

A concentração de arsênio no corpo humano varia de 0,5 a 15 ppm, com média de 7 ppm; no sangue, de 2 a 9 ppm; nos ossos e tecidos, de 0,1 a 1,6 ppm; e, nos cabelos, 1 ppm (Emsley, 2001).

Os agravos de saúde decorrentes da exposição ao arsênio são apresentados no Quadro 13.

4.1.4.2. Cádmio – Cd

Metal situado no Grupo 2B da tabela periódica, número atômico 38, com concentração média de 0,15 ppm na crosta terrestre. É maleável e dúctil no estado sólido, com coloração prateada e tons azulados (Element Collection, Inc, 2017).

Não é encontrado em estado puro na natureza, mas apenas como constituinte da smithsonita ($ZnCO_3$), sendo obtido como subproduto da fundição do Zn, Pb e Cu. É insolúvel em água e reage com ácidos, formando óxidos e compostos tóxicos estáveis (Greenwood; Earnshaw, 1989).

Praticamente ausente na atmosfera, é encontrado em maiores concentrações junto a áreas industriais. Ocorre naturalmente nos sistemas aquáticos e não apresenta potencial nocivo nos oceanos, estuários e rios por estar presente em concentrações menores que 10 ng/l. Concentrações maiores, portanto, relacionam-se a fontes antropogênicas.

As fontes de contaminação de cádmio decorrem de atividades industriais e mineração, processos metalúrgicos e utilização de combustíveis fósseis; pigmentos e tintas têxteis, fertilizantes e fungicidas; reciclagem de sucatas ferrosas e óleos de motores, além de baterias recarregáveis de Ni-Cd; ligas metálicas, semicondutores e revestimentos anticorrosivos; plásticos, material para solda e eletrodeposição, fotocélulas, barras de controle em plantas de geração de energia nuclear, fertilizantes fosfatados e fungicidas.

O cádmio é introduzido no ambiente por meio da chuva, precipitação seca, lançamento de esgotos domésticos em solos agrícolas e pelo uso de fertilizantes fosfatados.

E as principais rotas de exposição incluem ingestão de água e vegetais, inalação de poeira e ingestão acidental de solo contaminado (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012a).

A concentração de cádmio no corpo humano aumenta com a idade e pode atingir cerca de 50 ppm aos 50 anos de vida. No sangue, cerca de 5 ppt; nos ossos, 2 ppm; e, nos tecidos, cerca de 2 ppm, podendo atingir até 10 vezes essa concentração nos rins e fígado (Emsley, 2001).

Os agravos de saúde decorrentes da exposição ao cádmio são apresentados no Quadro 13.

4.1.4.3. Chumbo - Pb

Metal situado no Grupo 14, período 6, da tabela periódica, número atômico 82, com concentração média de 10 ppm na crosta terrestre. É maleável e dúctil no estado sólido, com coloração cinza-prateada a azulada (Element Collection, Inc, 2017; Royal Society of Chemistry, 2025a).

Dos metais pesados, é o mais abundante. Apresenta coloração cinza, é insolúvel em água e reage com ácidos formando óxidos e compostos tóxicos estáveis.

Foi utilizado, no Egito Antigo, entre 7.000 e 5.000 a.C., para a vitrificação de cerâmicas, na impermeabilização dos Jardins Suspensos da Babilônia e, pelos romanos, para a construção de aquedutos e tubulações. Estima-se que foram utilizados entre seis e oito milhões de toneladas em cerca de quatro séculos, com um pico de produção anual de 60.000 toneladas (Greenwood; Earnshaw, 1989).

Significativa parcela do chumbo é utilizada como material inerte em formato fundido, laminado ou extrudado, em soldas, ligas para fusíveis e casquilhos para rolamentos; revestimento de cabos elétricos, chapas, folhas, canos, tubos e tinta anticorrosão; em insumos para galvanização e pigmentos amarelos, vermelho alaranjado, amarelo-canário e branco; para pintura de faixas de rolamento, além de pigmentos azul metálico e diferentes tons de verde para plásticos coloridos; e, ainda, para soldagem e produção de lastro, munição e projéteis, além de pesos para ginástica.

Material particulado com elevada concentração de chumbo pode ser transportado pelo ar, água e solo, depositando-se, em seguida, em regiões até então não impactadas, assegurando a continuidade do ciclo envolvendo ar, água e solo por conta dos processos físicos e químicos naturais, como intemperismo,

precipitação e drenagem, precipitação seca de poeira e transporte por rios e cursos d'água.

Com a ressalva de que mais de 80% do chumbo utilizado é recuperado e reciclado para, novamente, ser reutilizado.

A exposição dos seres humanos ao chumbo se dá, primariamente, pela rota oral, seguida pela respiratória e dérmica.

A quantidade de chumbo no corpo humano é de cerca de 120 mg, enquanto a concentração no sangue é de cerca de 0,2 ppm, nos ossos de 3 a 30 ppm, e tecidos de 0,2 a 3 ppm (Emsley, 2001).

Os agravos de saúde decorrentes da exposição ao chumbo são apresentados no Quadro 13.

4.1.4.4. Cobre - Cu

Metal situado no Grupo 1B da tabela periódica, número atômico 29, com concentração média de 68 ppm na crosta terrestre. É maleável e dúctil, com coloração avermelhada, avermelhada-dourada ou vermelho alaranjado, desempenhando papel importante para os seres vivos por se constituir em um dos micronutrientes essenciais (Element Collection, Inc, 2017) (Element Collection, Inc, 2017).

O cobre, tal qual a prata e o ouro, conhecidos como “metais de cunhagem”, é, presumivelmente, um dos três primeiros metais utilizados pelos seres humanos por também ser encontrado na forma elemental, ou nativa, podendo ser modelado a frio.

O registro mais antigo de uso do cobre remonta a cerca de 3.500 a.C. no Oriente Médio. Posteriormente, por volta de 3.000 a.C., por meio do processo de redução no fogo com carvão e adição de estanho na proporção de 7 a 10%, foi obtida a liga denominada bronze pesado, muito apreciada na Índia, Mesopotâmia e Grécia, iniciando a “Idade do Bronze”.

Ao ser misturado com o zinco, produz latão, além de ligas especiais como o monel, graças à adição de níquel. É considerado um dos metais mais importantes para a humanidade (Greenwood; Earnshaw, 1989).

Apresenta propriedades microbacterianas, sendo utilizado para tratamento médico, além de se constituir como elemento essencial para plantas.

É utilizado para produção de fios, cabos elétricos e componentes eletrônicos; proteção de telhados, tintas anti-incrustantes para embarcações e tubulações para água, aquecimento, ventilação e condicionamento de ar; fertilizantes; preservação de madeira; fungicida; suplementos nutricionais; utensílios para cozinha; joias; moedas; catalisadores para tratamento de gases e pigmentos para tintas (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024a; Greenwood; Earnshaw, 1989).

Por volta de um terço do cobre utilizado no mercado, atualmente, é obtido a partir da reciclagem de sucata.

As rotas de exposição incluem a inalação, a ingestão de alimentos e água, além do contato com substâncias contendo cobre (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024a).

A concentração de cobre no corpo humano pode atingir 70 mg, com 1 ppm no sangue, 1 a 25 ppm nos ossos e 2 a 10 ppm, principalmente no fígado (Emsley, 2001).

Os agravos de saúde decorrentes da exposição ao cobre são apresentados no Quadro 13.

4.1.4.5. Cromo – Cr

Metal de transição situado no Grupo 6B da tabela periódica e período 4, número atômico 24, com concentração média de 140 ppm na crosta terrestre. É rígido e quebradiço, com coloração cinza-prateada a azul brilhante (Element Collection, Inc, 2017).

Descoberto em 1798 por Nicholas Louis Vauquelin, em Paris, França.

É utilizado como componente endurecedor do aço inoxidável e de diversas ligas metálicas ferrosas e não ferrosas; na cromagem de peças para proteção contra a corrosão e para efeito decorativo; na indústria química e metalúrgica; como catalisador industrial; em material refratário; na indústria têxtil; como componente de pigmentos verde brilhante, amarelo, vermelho e laranja; em tintas para paredes,

tintas para impressão, borracha e cerâmica; fungicidas e preservação de madeiras; tratamento de couro em cortumes; produção de vidros esverdeados; próteses humanas e suplemento alimentar para animais e seres humanos; bem como em fitas magnéticas produzidas com óxido de cromo que apresentam ótima resolução e resposta na gravação de som em alta frequência (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012b; Greenwood; Earnshaw, 1989).

Liberado por meio da queima de gás natural, óleo ou carvão e lançado no ar pelas fontes, o cromo precipita-se em seguida no solo e na água, podendo alterar a forma química dependendo das condições ambientais presentes.

As rotas de exposição decorrem da inalação, ingestão de água e alimentos, transferência parental, além de contato dermal por meio de banho em água contaminada, ressalvando-se destacar como mineral essencial (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012b).

A quantidade de cromo no corpo humano pode variar de 1 a 2 mg, enquanto a concentração varia de 6 a 100 ppb no sangue, de 100 a 300 ppb nos ossos e de 25 a 800 ppb nos tecidos (Emsley, 2001).

Os agravos de saúde decorrentes da exposição ao cromo são apresentados no Quadro 13 e se referem, principalmente, à exposição ocupacional.

4.1.4.6. Manganês – Mn

Elemento situado no Grupo 7B da tabela periódica e período 4, número atômico 25, concentração média de 1.110 ppm na crosta terrestre. Apresenta consistência rígida e coloração prateada brilhante (Element Collection, Inc, 2017; Royal Society of Chemistry, 2025a).

Isolado em laboratório em 1774 por Johan Gottlieb Gahn.

O Mn faz parte da história dos seres humanos. Dióxido de manganês foi utilizado para pinturas rupestres em cavernas na região de Lascaux, França, cerca de 30.000 anos AP, e a pirolusita foi utilizada para produção de vidro no Egito, na época dos Faraós.

Atualmente, milhões de toneladas de manganês são utilizadas todos os anos, principalmente na indústria metalúrgica, para aumentar a dureza, rigidez e resistência de aço-carbono, aço inoxidável, aço de alta temperatura e aço para

ferramentas, além de ferro fundido. Também é utilizado na limpeza, bronzeamento e branqueamento de metais, bem como em superligas com alumínio para proteção contra corrosão, além de ser formulado com Sb ou Cu devido às propriedades altamente magnéticas (Greenwood; Earnshaw, 1989).

Na indústria não metalúrgica, é utilizado na forma de óxidos de manganês, como aditivo de borracha e descolorante de vidro para dificultar a visualização de impurezas. Já o sulfato de manganês é utilizado como fungicida, em baterias de células secas carbono–zinco, como pigmento na indústria cerâmica e tintas; em fertilizantes e nutrição animal; na indústria eletrônica e nos antigos televisores com tubo; em fogos de artifício; como agente para contraste em exames de ressonância magnética, cosméticos e suplementos alimentares (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012c; Greenwood; Earnshaw, 1989; Royal Society of Chemistry, 2025b).

A exposição ao manganês se dá por meio da respiração, ingesta de alimentos e água, além de contato dermal (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012c).

A quantidade de manganês no corpo humano é de cerca de 12 mg, com concentração de 2 a 100 ppm nos ossos e 0,2 a 2 ppm nos tecidos (Emsley, 2001).

Os agravos de saúde decorrentes da exposição ao manganês são apresentados no Quadro 13.

4.1.4.7. Mercúrio – Hg

Metal situado no Grupo 2B da tabela periódica, número atômico 80, com concentração média de 0,03 ppm na crosta terrestre, encontrado no estado líquido nas CNTPs, com coloração prateada e praticamente inerte ao intemperismo (Element Collection, Inc, 2017; Royal Society of Chemistry, 2025a).

O mercúrio ocorre naturalmente no ambiente e seu comportamento é bem caracterizado. O ciclo biogeoquímico global do Hg está associado à sua desgaseificação a partir do solo e superfície das águas, seguido pelo transporte atmosférico e, posteriormente, deposição no solo ou água e a sorção junto às partículas do solo e sedimento.

E, uma vez depositado em terra ou na água, é, em parte, volatilizado para a

atmosfera. Esse ciclo abarca a emissão, deposição e nova volatilização, dificultando a avaliação da dinâmica existente entre o elemento químico e suas fontes (Greenwood; Earnshaw, 1989).

As contribuições antropogênicas se dão, principalmente, na atmosfera e, ainda que tenham diminuído em alguns países ao longo das últimas décadas, como nos EUA, globalmente vêm aumentando como resultado da mineração artesanal de ouro e queima de combustíveis fósseis.

O Hg pode ser encontrado em diferentes estados de valência e em diversos tipos de compostos. Por isso, é classificado em três categorias - mercúrio elemental, compostos inorgânicos de mercúrio e compostos orgânicos de mercúrio – cada uma delas com distintas propriedades e características toxicocinéticas e toxicodinâmicas.

Quanto à utilização, cinábrio, corante vermelho brilhante com formulação de HgS, foi utilizado para pintura e decoração de cavernas no Paleolítico, por volta de 30.000 anos AP. Posteriormente, foi isolado e utilizado na região Mediterrânea para extração de metais por amalgamação a partir de 500 a.C. ou, possivelmente, antes, e como pigmento vermelho nessa mesma região até 1500 d.C. por alquimistas que o consideravam como chave para a transmutação de metais em ouro.

Além disso, utilizaram-no como amálgama para simular ouro e prata. Foi intensivamente utilizado no Sec. XVI, quando o mercúrio produzido em Almaden, Espanha, era levado para o México para purificar a prata trazida para a Europa (Royal Society of Chemistry, 2025a).

Sua utilização se dá como catalisador para a produção de cloro (Cl) e hidróxido de sódio (NaOH) em baterias e pilhas, além do uso crescente na indústria elétrica e eletrônica em relés, sensores, interruptores, válvulas, termostatos e retificadores de corrente elétrica, filamentos, lâmpadas (fluorescente, vapor de mercúrio, entre outras) e iluminação. É também utilizado na indústria automobilística, em tintas e pigmentos, catalizadores e fixadores químicos. Na saúde, em vacinas, amálgama dentário e equipamentos médicos como dilatadores gastrointestinais, manômetros e esfigmomanômetros. Em pequena escala, é ainda utilizado em termômetros, barômetros e diferentes tipos de medidores. Como composto químico, é intensamente utilizado por suas propriedades germicidas e fungicidas.

Sua liberação no meio decorre de atividades de fundição, purificação e

metalurgia do cobre, zinco, chumbo, ferro, aço, produção de mercúrio e outros metais, tanto em larga escala como artesanal; na produção de prata, cimento e soda cáustica; combustão de carvão e óleo, incineração de resíduos sólidos municipais e industriais, entre outros, além da síntese de diversos outros produtos químicos (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024b; Greenwood; Earnshaw, 1989; Royal Society of Chemistry, 2025b).

As rotas de exposição para os seres humanos variam de acordo com a forma do mercúrio considerado:

- mercúrio elemental – respiração em atividades laborais e ingestão decorrente do amalgama dentário;
- compostos inorgânicos de mercúrio – exposição oral no manuseio e aplicação de doses em animais de laboratório, não se dispondo de estudos epidemiológicos para identificar consequências, além de contato dermal;
- compostos orgânicos de mercúrio – absorção no trato intestinal devido à ingestão de metilmercúrio presente em peixes, moluscos, frango e arroz, principalmente (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024b; Jaishankar et al., 2014b).

O corpo humano apresenta cerca de 6 mg de Hg e concentração de 8 ppb no sangue, 0,5 ppm nos ossos e 0,2 a 0,7 ppm nos tecidos (Emsley, 2001).

Os agravos de saúde decorrentes da exposição ao mercúrio são apresentados no Quadro 13.

4.1.4.8. Níquel – Ni

Elemento situado no Grupo 10, período 4, da tabela periódica, com número atômico 28 e concentração média de 90 ppm na crosta terrestre. Apresenta-se em estado sólido com coloração prateada brilhante, resistente à corrosão mesmo em altas temperaturas (Element Collection, Inc, 2017; Royal Society of Chemistry, 2025a).

Descoberto em 1751 por Axel Fredrik Cronstedt, ainda que ligas com níquel já fossem utilizadas na China, há mais de 2.000 anos.

É utilizado com outros metais para protegê-los da corrosão, formando ligas com aço inoxidável, aços–liga, ligas não ferrosas e superligas utilizadas na indústria aeroespacial, automotiva e geração de energia (reatores nucleares e turbinas eólicas); na medicina (próteses, implantes cirúrgicos, próteses cardiovasculares, ferramental médico e odontológico); na indústria de galvanização para niquelamento de peças; em torradeiras e fornos elétricos devido à resistência a altas temperaturas sem oxidação. Adicionalmente, ligas cobre-níquel são utilizadas em plantas de dessalinização para converter água salgada em água doce, bem como em equipamentos para indústrias químicas, refinarias de petróleo e instalações offshore, entre outros usos. Aço níquel é utilizado para blindagem contra armas de fogo, enquanto outras ligas com níquel são utilizadas em hélices para embarcações.

Também é empregado em baterias, incluindo recarregáveis de níquel – cádmio e níquel – metal que equipam veículos elétricos; na fabricação de moedas; como catalizador de óleos vegetais hidrogenados; em vidros, para assegurar coloração verde; como fixador de corante; selante para alumínio anodizado; além das indústrias cerâmicas e farmacêuticas (Royal Society of Chemistry, 2025b; ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024c; Greenwood; Earnshaw, 1989).

É emitido por ocasião da combustão de petróleo e as rotas de exposição decorrem do contato dermal pela utilização prolongada de bijuterias e produtos metálicos, bem como pela inalação e ingestão de alimentos de origem vegetal e animal produzidos em áreas com elevada concentração de níquel no solo, além da ingestão de solo por crianças (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2024c).

O corpo humano apresenta cerca de 15 mg de níquel, com concentração no sangue de 10 a 80 ppb, nos ossos acima de 0,7 ppm e nos tecidos entre 1 a 2 ppm (Emsley, 2001).

Os agravos de saúde decorrentes da exposição ao níquel são apresentados no Quadro 13.

4.1.4.9. Zinco – Zn

Metal situado no Grupo 12, Período 4, da tabela periódica, número atômico 30, com concentração média de 78 ppm na crosta terrestre. Em estado sólido, apresenta coloração branca-prateada com tons azulados, reagindo e sendo oxidado pelo ar (Element Collection, Inc, 2017; Royal Society of Chemistry, 2025a).

Identificado como elemento químico em 1746, por Andreas Marggraf.

A fundição e redução do ZnO requerem a queima de carvão em temperaturas próximas ou maiores que 1.000 ^{o}C e ausência de ar, técnica aparentemente conhecida na Índia, no século XIII, com conhecimentos repassados para a China, onde moedas de zinco foram utilizadas na Dinastia Ming, entre 1368 e 1644 (Greenwood; Earnshaw, 1989).

Pequenas quantidades de Zn presentes em amostras de cobre no início da civilização egípcia não guardam relação com a concentração nos recursos minerais locais e foram, ao que indica, introduzidas pelos metalúrgicos da época. O latão produzido por palestinos, entre 1400 e 1000 a.C., contendo cerca de 23% de zinco, deve ter sido produzido a partir da mistura deliberada de cobre e zinco obtidos a partir de minérios transportados de outros locais (Greenwood; Earnshaw, 1989).

Zinco era conhecido pelos romanos, mas raramente utilizado. E, infere-se, considerado metal na Índia, entre 1.100 e 1.500, como demonstram os resíduos de uma fundição para produção desse mineral em grande escala, localizada no Rajastão.

A produção também era notável na China, a partir do século XV, como demonstrou um navio da Companhia das Índias Orientais naufragado na costa da Suécia, em 1745, com carga de lingotes de zinco que, após recuperação e análise, demonstrou se tratar de zinco com alto grau de pureza.

O zinco é intensamente utilizado na proteção de outros metais contra a corrosão por meio de galvanização a fogo, eletrogalvanização, pulverização e tintas. O aço galvanizado é utilizado na fabricação de veículos, postes metálicos para iluminação, barras de proteção nas estradas e ferragens estruturais de pontes. Peças metálicas fundidas são utilizadas nos setores automotivo, elétrico e de ferramentas, geralmente protegidas por galvanização com esse metal. O zinco é ainda utilizado em ligas com latão, bronze, níquel, prata e solda de alumínio, em

caixas d'água, pregos e torres de transmissão, em aplicações dentárias (como cimento), médicas (como antisséptico, desinfetante e desodorante) e domésticas; bem como fertilizantes e suplemento alimentar para animais, além da preservação de madeira e mineração de ouro.

Óxido de zinco é amplamente utilizado na fabricação de tintas, borracha (como ativador e acelerador da vulcanização), cosméticos, produtos farmacêuticos, plásticos, moedas, tintas, sabonetes, baterias, têxteis, fixadores de pigmentos e equipamentos eletroeletrônicos. O sulfeto de zinco é utilizado na fabricação de tintas luminosas ou reflexivas, lâmpadas fluorescentes e telas para raios-X (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2005; Greenwood; Earnshaw, 1989).

As fontes de contaminação podem ser efluentes industriais, esgoto doméstico e águas de drenagem urbana lançadas em corpos de água doces, salobras ou salinas.

A rota de exposição dos seres humanos ao zinco ocorre por meio da respiração, alimentação, dessedentação ou contato com a pele. Em excesso, pode ser carcinogênico (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2005).

O zinco é um mineral essencial para os seres humanos e a quantidade no organismo é de cerca de 2 a 3 g; no sangue, 7 ppm; nos ossos, de 75 a 170 ppm; e nos músculos, 50 ppm (Emsley, 2001).

Os agravos de saúde decorrentes da exposição ao zinco são apresentados no Quadro 13.

4.1.5. Metais pesados e os seres vivos

Metais são essenciais para diversas funções bioquímicas e fisiológicas em plantas, animais e seres humanos, sempre em concentrações muito baixas. Uma vez excedidos sensíveis limiares, tornam-se tóxicos e nocivos à saúde. Apresentam, portanto, limites muito tênues quando deixam de ser essenciais e se tornam genotóxicos, carcinogênicos, mutagênicos ou teratogênicos (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

Diversos autores classificam os metais pesados em função de seu papel biológico e de sua importância para a saúde dos organismos (Bansal, 2020), distinguindo-os, de forma geral, em quatro grupos:

I. Metais pesados essenciais - Cu, Zn, Co, Cr, Mn e Fe, apresentando limites a partir dos quais tornam-se tóxicos;
II. Metais pesados não essenciais – Ba, Al e Li;
III. Metais pesados com menor toxicidade – Sn; e
IV. Metais pesados com alta toxicidade - Hg, Cd, Pb e As.

Graças às suas características químicas e propriedade de oxirredução, podem escapar do controle de processos afeitos ao transporte, compartimentação e ligação com organelas celulares, interferindo, como resultado, na homeostase do organismo. Ao se ligar a proteínas, metais pesados podem deslocar o metal anteriormente presente, resultando em desarranjo no metabolismo celular e, consequentemente, gerando algum tipo de toxicidade como resultado da deterioração oxidativa, principalmente quando ligado ao DNA e proteínas nucleares de um organismo (Jaishankar et al., 2014a).

Metais pesados em baixas concentrações, portanto, associam-se ao metabolismo humano e, consequentemente, tornam-se subprodutos do nosso cotidiano, sendo, posteriormente, descartados em esgotos domésticos e efluentes urbanos (Chambers et al., 1997).

Os processos que regulam a transferência de metais pesados para os organismos e sua consequente contaminação incluem:

- adsorção;
- absorção;
- respiração;
- contato;
- consumo de água e/ou alimentos; e
- diferença osmótica.

Já com relação às rotas de exposição, podem ser por meio da:

- laringe e pulmões – respiração;

- faringe e trato gastrointestinal – dessedentação e alimentação; além da
- pele e mucosas – contato dermal.

No que se refere ao tipo de exposição dos seres humanos, podem ser:

- ocupacional;
- ambiental;
- alimentar ou
- medicamentosa a partir de fármacos utilizados em tratamentos (Balali-Mood et al., 2021; Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021; Morais; Costa; Pereira, 2012)

Após a exposição do organismo a um ou mais metais pesados, eventualmente incluindo outros poluentes, pode ocorrer:

- concentração – resultado da ingesta, respiração ou contato dérmico, acarretando retenção do(s) metal(is) ao(s) qual(is) ocorreu exposição;
- acumulação - decorrente da permanência e aumento da concentração no organismo; e
- magnificação - afeito à transferência dos metais concentrados e/ou acumulados para outros níveis da cadeia trófica (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

Qualquer organismo pode ser exposto a um poluente e, particularmente, metais pesados, por meio da ingestão de água e alimento, pela inalação do ar ambiente ou pelo contato com a pele.

A contaminação mais efetiva e intensa se dá pela ingestão de alimentos por meio da rota gastrointestinal.

Enquanto a contaminação pela ingestão de água tende a ser menos nociva em decorrência da diluição e atenuação da possibilidade dos metais pesados se acumularem e se magnificarem, ao comparar com a ingesta de alimentos.

Com relação à exposição ocupacional, e graças ao maior período continuado em que o organismo se encontra exposto aos poluentes, assume papel importante na contaminação por metais pesados e apresenta relação direta com o tipo de atividade profissional desenvolvida e, consequentemente, tempo de exposição.

Graças às características físico-químicas que asseguram a persistência temporal dos metais pesados na natureza, podem ser, depois da exposição, concentrados e acumulados pelo consumo de organismos contaminados na cadeia trófica (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

Quando concentrados em doses excessivas, podem causar a morte de vegetais e animais. Quando a concentração não atinge níveis letais, esses organismos, mesmo contaminados, podem servir de alimentos para outros consumidores, causando a amplificação desses metais, acarretando a contaminação da cadeia trófica e, eventualmente, do ecossistema.

Quanto às consequências da exposição aguda e crônica a metais pesados no metabolismo dos organismos, estudos observacionais e experimentais realizados com animais e seres humanos indicam, em diversas situações, a geração de radicais livres capazes de causar estresse oxidativo e danos em enzimas, proteínas, lipídeos e ácido nucleico, incluindo DNA, resultando na interrupção de processos metabólicos, lesões em células, tecidos e órgãos passíveis de levar o organismo a óbito (Li et al., 2022).

A contaminação da biosfera por metais pesados, seja de origem natural ou antropogênica, introduzidos intencionalmente ou não, direta ou indiretamente lançados tanto por fontes pontuais como difusas na atmosfera, hidrosfera e geosfera, tem relação direta entre as atividades socioeconômicas e o crescimento populacional, e vice-versa. Intensifica-se com o passar do tempo, acentuando os impactos negativos para os organismos vivos, ecossistemas e biomas (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

4.1.6. Metais pesados, seres humanos e saúde pública

A relação de metais pesados com os seres humanos pode ser avaliada, desde a antiguidade, a partir de estudo realizado com 80 amostras de ossos de 38 indivíduos, com 30 deles oriundos de escavações arqueológicas, abarcando os períodos a seguir apontados:

- Idade do Bronze (~3300 a.C. - ~1200 a.C.);
- Época Romana (753 a.C. – 476 d.C.);
- Império Bizantino (330 a.C. – 1453 d.C.);

- Período Islâmico (622 d.C. – 1258 d.C.) e
- Época Moderna (1453 d.C. até a atualidade, incluindo o século XX).

Para cada amostra de osso, foi avaliada a concentração de chumbo (Pb), cobre (Cu), zinco (Zn), cádmio (Cd) e ferro (Fe). Os resultados possibilitaram inferir que:

- O início e intensificação do uso dos metais pelos seres humanos pode ser associado ao aumento da concentração desses metais pesados nos ossos analisados;
- Os metais pesados, como xenobióticos, atingem pico e, posteriormente, decrescem até os dias atuais, talvez como resultado das medidas de controle de poluição implantadas em ambientes confinados, onde ocorre maior exposição, a partir do século XX;
- As análises de correlação realizadas demonstram que os metais pesados identificados nos ossos decorrem das mesmas rotas de exposição atuais, presumidamente por inalação de fumaça em ambientes confinados, aerossóis atmosféricos e ingestão de diversos itens alimentares na dieta (Martínez-García et al., 2005).

Questões relacionadas à exposição a metais pesados e às consequências para a saúde acompanham os seres humanos há milênios e estão associadas à exposição ao chumbo, cádmio, mercúrio e arsênio, já extensivamente estudados a partir dos seus efeitos e referendados por instituições internacionais como a Organização Mundial da Saúde (OMS), como informa Järup (2003).

A despeito dos severos efeitos adversos causados pelos metais pesados serem conhecidos há longo tempo, a exposição a esses poluentes continua aumentando em muitas partes do mundo e, particularmente, nos países menos desenvolvidos, ainda que as emissões nos países desenvolvidos venham caindo nos últimos 100 anos (Järup, 2003).

As atividades industriais no século XX propiciaram exposições massivas de seres humanos aos metais pesados, Figura 4, por meio da água, ar e alimentos (Balali-Mood et al., 2021).

A acumulação desses metais nos organismos pode ser tóxica para diversos tecidos e órgãos. E resultam em perturbações celulares que afetam o crescimento,

reprodução, diferenciação genética e processos de danos-reparação, podendo culminar em apoptose, ou morte celular programada (Balali-Mood et al., 2021).

A comparação dos mecanismos de ação dos metais pesados nos organismos revela vias similares para induzir toxicidade. E inclui a produção de espécies reativas de oxigênio (ERO)/reactive oxygen species (ROS), enfraquecimento da defesa antioxidante, inativação enzimática e estresse oxidativo, além de se ligar seletivamente a macromoléculas específicas, resultando no desenvolvimento de diversos tipos de agravos, incluindo câncer, doenças cardiovasculares e neurodegenerativas, além de desordens metabólicas, instabilidade genômica, dificuldade na reparação do DNA, inflamações e envelhecimento (Balali-Mood et al., 2021; Snezhkina et al., 2019).

Em termos esquemáticos, a exposição dos seres humanos e a toxicidade induzida pelos metais pesados, principalmente devido ao estresse oxidativo, podem ser visualizadas nas Figuras 4 e 5.

Com relação aos principais efeitos para cada um dos metais pesados, há que se considerar, inicialmente, a rota de exposição respiratória, digestiva ou dérmica. E, em seguida, o tipo e intensidade de exposição, seja por residir em locais contaminados, atuar profissionalmente em plantas industriais com a presença de metais pesados ou consumir alimentos produzidos em locais com metais pesados.

Em decorrência, os efeitos negativos à saúde que podem se manifestar nos sistemas respiratório, cardiovascular, gastrointestinal, hematológico, esquelético muscular, hepático, renal, endócrino, metabólico, dérmico, ocular, imunológico e linforreticular, neurológico, reprodutivo e homeostático, além de poderem prejudicar a dentição, causar alterações de peso muscular, desenvolvimento de fetos, câncer e morte, sintetizados no Quadro 13.

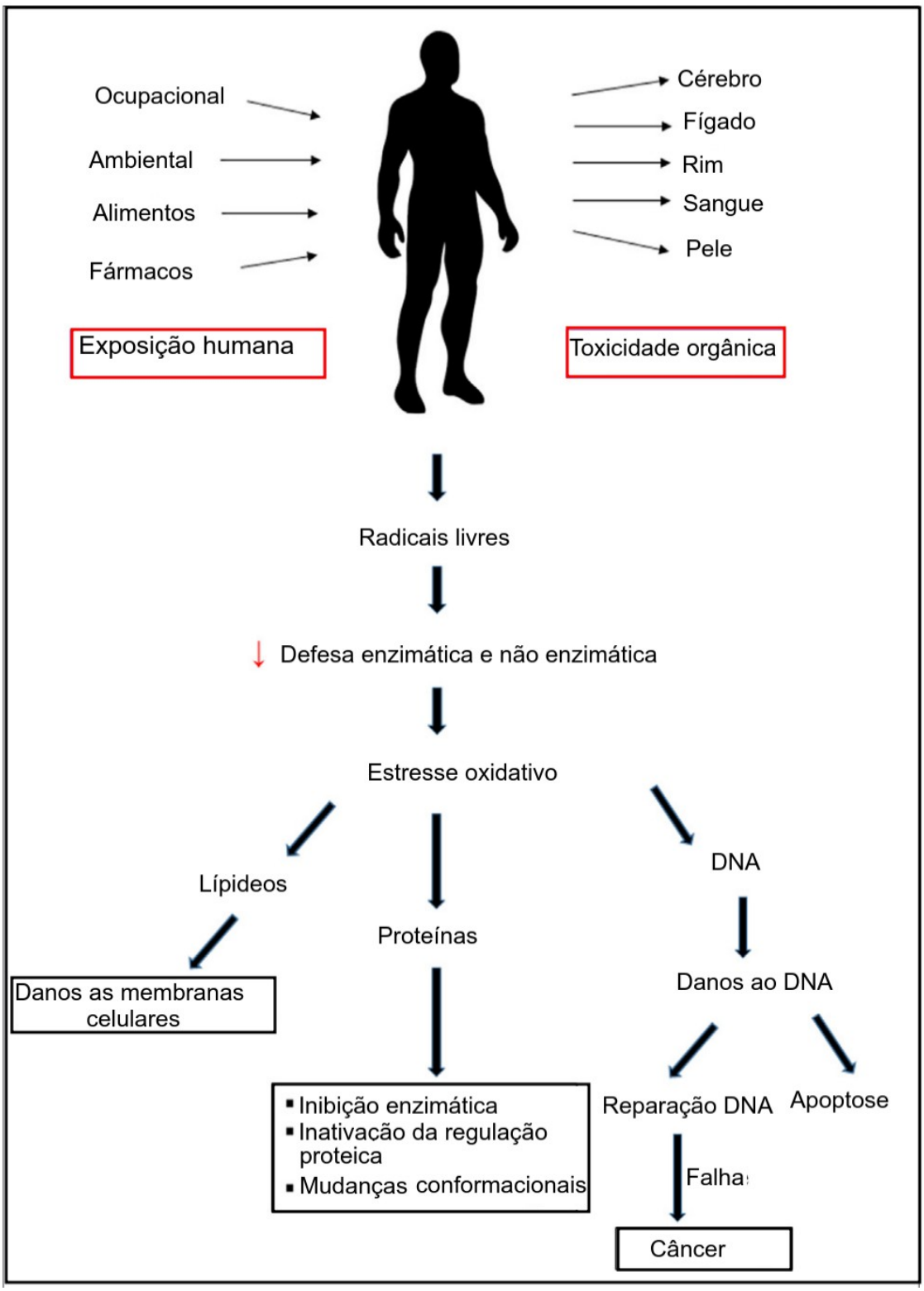


Figura 4. Estresse oxidativo e toxicidade orgânica em decorrência da exposição a metais pesados. Fonte: adaptado de Balali-Mood et al. (2021).

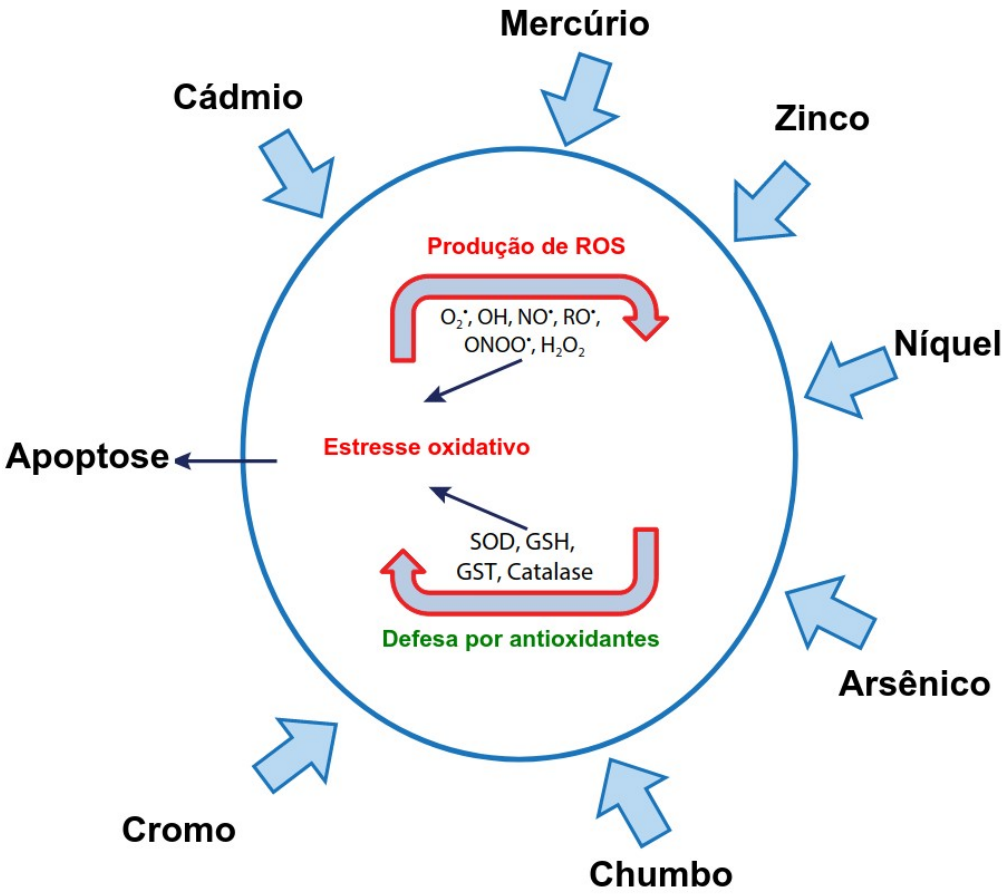


Figura 5. Reação de uma célula à exposição a metais pesados e balanço entre a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e subsequente defesa decorrente da ação de antioxidantes, podendo levar à apoptose ou morte celular. Fonte: adaptado de Jaishankar et al. (2014).

As informações a seguir reportadas foram obtidas a partir da análise de prontuários de doentes agrupados em três períodos de exposição: aguda, com até 14 dias de contato com o poluente; intermediária, abarcando de 15 a 364 dias em contato; e crônica, quando expostos ao poluente durante 365 dias ou mais (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2005).

Quadro 13. Consequências da exposição a metais pesados a seres humanos por meio da rota respiratória (1), oral (2) e dérmica (3). Fonte: adaptado de ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2005, 2007, 2012a, 2012b, 2012c, 2020, 2024a, 2024b, 2024c).

Consequências à saúde humana	Elemento químico e rotas de exposição																								
	As			Cd			Cu			Cr			Hg			Mn			Ni			Pb	Zn		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	indet.	1	2	3
Efeitos respiratórios	x	x		x			x			x	x	x				x			x	x		x	x		
Efeitos cardiovasculares	x	x			x		x	x		x	x	x		x		x						x			
Efeitos gastrointestinais	x	x		x	x		x	x		x	x	x	x	x						x		x	x	x	
Efeitos hematológicos	x	x			x		x	x		x	x	x		x						x		x	x	x	x
Efeitos esqueléticos musculares	x			x	x							x								x		x			
Efeitos hepáticos	x	x			x		x	x		x	x									x		x		x	
Efeitos renais	x	x		x	x		x	x		x	x	x	x	x					x			x			
Efeitos endócrinos		x			x		x			x						x						x		x	
Efeitos metabólicos					x					x	x														
Efeitos dérmicos	x	x	x			x	x	x		x	x	x									x				x
Efeitos oculares	x	x					x			x		x								x		x	x		
Efeitos dentários				x																					
Alterações peso corporal	x	x						x		x			x			x						x			
Efeitos homeostáticos																							x		
Efeitos imunológicos e linforreticular	x		x	x			x	x			x	x		x					x	x		x	x	x	
Efeitos neurológicos	x	x		x	x		x	x		x	x		x	x		x	x			x		x	x	x	
Efeitos reprodutivos	x	x					x			x				x		x				x		x			
Efeitos no desenvolvimento dos fetos	x	x		x									x	x					x	x		x			
Câncer	x	x		x	x					x	x			x					x			x			
Morte		x		x	x						x	x		x			x		x				x	x	

Observações:
1 – Inalação - rota de exposição respiratória;
2 – ingestão - rota de exposição digestiva;
3 – contato – rota de exposição dérmica.
Para o caso do mercúrio, a rota de exposição para o Hg elemental é a respiratória e, para sais inorgânicos e compostos orgânicos de Hg, digestiva.
Pb – rotas de exposição não identificadas/indeterminada

Os seres vivos e, particularmente, os humanos, estão constantemente expostos a múltiplas substâncias tóxicas, tanto naturalmente presentes, sejam metais pesados, quanto as sintéticas produzidas pela tecnologia. Podem ser consideradas onipresentes no meio, graças às suas características que dificultam, quando não impedem, a atenuação ou degradação em curto espaço de tempo (Wallace; Buha Djordjevic, 2020).

Os mecanismos por meio dos quais os metais pesados podem acarretar câncer, dentre outros agravos degenerativos, contam com imenso conjunto de evidências, dentre as quais se destacam os fatores ambientais já identificados por órgãos internacionais, como uma das bases para seu desenvolvimento (IARC, 2012), Quadro 14.

Quadro 14. Classificação dos metais pesados de acordo com o efeito que podem causar aos seres humanos após exposição. Fonte: adaptado de IARC (2012).

Metal pesado / Efeito decorrente da exposição	Arsênio inorgânico	Arsênio orgânico	Cádmio	Chumbo inorgânico	Chumbo orgânico	Cobre	Cromo VI	Cromo III	Mercúrio inorgânico	Mercúrio orgânico	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco
	As		Cd	Pb		Cu	Cr		Hg		Mn	Ni	Sn	Zn
Carcinogênico em seres humanos														
Provavelmente carcinogênicos em seres humanos														
Possivelmente carcinogênicos em seres humanos														
Não classificado, até então, como carcinogênico														

No que respeita aos metais pesados, raramente encontrar-se-á apenas um tipo em dada área contaminada ou local de armazenamento, tratamento e disposição de resíduos tóxicos, incluindo a região influenciada pela drenagem a jusante desses locais.

Um metal pesado, geralmente, é acompanhado por outros metais pesados e contaminantes, como demonstra a avaliação realizada em 1.608 sítios contaminados, identificados nos EUA no início dos anos 2000, dos quais 219 apresentavam mistura quaternária – com quatro espécies de elementos - de metais pesados composta por chumbo, arsênio, cádmio e cromo (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004).

No caso citado, para essa mistura de metais presentes no solo, na forma inorgânica, a principal rota de exposição era a oral/digestiva, com tipo de exposição variando de intermediária a crônica.

Como não havia dados relacionados aos efeitos à saúde e à farmacocinética baseada na fisiologia dos indivíduos expostos à mistura quaternária de metais, a avaliação da exposição asedimento-água os riscos à saúde decorreu da combinação do impacto individual de cada metal (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004).

A maior parte das informações disponíveis a respeito de misturas tóxicas de metais pesados refere-se a combinações binárias, como chumbo–cádmio e chumbo–arsênio, relevantes por envolverem, simultaneamente, exposições orais

intermediárias e crônicas. Além de apresentarem parâmetros indicadores de toxicidade a partir de seus efeitos nos organismos.

Cada metal apresenta parâmetros de toxicidade diversos e, consequentemente, afeta diferentes tecidos, órgãos e sistemas, Quadro 13. Ao mesmo tempo, cada órgão pode apresentar, frente a cada metal, diferentes suscetibilidades e, principalmente, à ação de dois ou mais deles.

Como consequência, misturas quaternárias de metais pesados não apresentam os mesmos efeitos críticos em exposições orais de longo prazo como um metal individualizado. Ou mesmo em combinações binárias (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004).

A coexistência de diversos metais em suas variadas formas químicas no solo não autoriza que os efeitos sinérgicos e antagônicos, atuais ou potenciais, decorrentes de suas interações, sejam ignorados. A complexidade desse fenômeno reforça a necessidade de análise rigorosa e atenção redobrada a esse tema (ATSDR Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004).

4.1.7. Sedimentos de regiões costeiras como indicadores de contaminação por metais pesados

A saúde de um ecossistema pode ser definida como a capacidade de um ambiente em manter a integridade e a diversidade biológica ao longo do tempo, mesmo sob estresse induzido por ações humanas ou naturais, de acordo com ANZECC/ARMACANZ (2000), citados por Birch e Olmos (2008).

Um ecossistema, para ser saudável, precisa estar temporariamente estável, resiliente a alterações e sem a presença de estressores ambientais, como, por exemplo, no presente caso, metais pesados no sedimento (Raport, 1995, segundo Birch e Olmos, 2008).

Nesse contexto, emerge o conceito de “ambiente pristino”, fundamental como referência para identificar os níveis de concentração de substâncias químicas e metais pesados anteriores à introdução dessas substâncias por atividades antropogênicas. Para tanto, o conhecimento da geologia e processos sedimentares, meteorologia e hidrodinâmica, além de aspectos históricos, pode contribuir para a caracterização do ambiente em questão (Birch, 2017).

Ambientes pristinos são amplamente utilizados para determinação das concentrações basais, ou background, de metais pesados naqueles ambientes (Birch, 2017).

Os dados utilizados nesse tipo de avaliação são de fácil aquisição, não custosos e adequados para a elaboração de modelos voltados à descrição da dinâmica de contaminantes que, estudados com mais detalhes e a partir de abordagem multidisciplinar, são aplicados em escala local, regional ou nacional por meio de programas de monitoramento e definição de cenários (Birch; Olmos, 2008).

O aumento do interesse e necessidade em fundamentar propostas para o uso adequado dos ecossistemas marinhos e costeiros tem ampliado, cada vez mais, a necessidade de identificação de indicadores confiáveis para avaliar a higidez ambiental desses locais. E, particularmente, no presente caso, em indicadores geoquímicos por meio da utilização de metais pesados como indicadores da qualidade ambiental de sedimento e ambientes costeiros (Birch; Olmos, 2008).

Nesse contexto, o sedimento é comumente utilizado para avaliar a qualidade ambiental das regiões costeiras na medida em que registra, com fidelidade, as características geológicas e resultados de atividades antropogênicas no ambiente estudado, incluindo as águas circunjacentes (Bubb e Lester, 1994, citado por Birch, 2000).

Metais pesados costumam apresentar concentrações com várias ordens de magnitude superiores às da água. Demandam, portanto, custos muito menores para coleta, preparação e análise das amostras, refletindo, a partir dos resultados, a qualidade ambiental com mais precisão do que a apresentada pela água, submetida à intensa hidrodinâmica (Birch, 2000).

O estudo de metais pesados no sedimento, por conseguinte, revela-se como boa estratégia para avaliar alterações induzidas por esse tipo de contaminante em ecossistemas costeiros e diagnosticar a qualidade ambiental (Birch; Olmos, 2008).

Adicionalmente, as concentrações de contaminantes no sedimento não costumam variar tanto como na água, exigindo número menor de amostras para caracterizar uma região com boa precisão (Birch, 2000).

Por estarem menos expostos à dinâmica das águas onde se depositaram, comportam-se como integradores de longo prazo das condições e história ambiental

do local estudado (Birch, 2000).

Adicionalmente, o sedimento incorpora, ao longo do tempo, os contaminantes introduzidos na região e constitui registro fiel das condições químicas pretéritas. Em termos práticos, constitui o único indicador com informações quantitativas a refletir as condições pristinas do ambiente e, subsequentemente, o enriquecimento decorrente de atividades antropogênicas.

Nos ecossistemas costeiros, consequentemente, o sedimento cumpre papel de arquivo da história ambiental. E registra a entrada de poluentes introduzidos por atividades industriais, urbanas, de transporte marítimo, exploração de recursos minerais e energéticos, além de atividades agrícolas, dentre outras, inclusive situadas na retroterra da bacia hidrográfica afluente para aquela região.

O seu estudo, portanto, assegura avaliações sistemáticas do ambiente, subsidiando estimativas de risco em áreas de importância ecológica para a diversidade biológica. E pode fundamentar, consequentemente, decisões para a gestão de passivos ambientais decorrentes da acumulação de elevadas concentrações de metais pesados, dentre outros contaminantes antropogênicos, nesses ambientes (Birch; Hutson, 2009a).

Sedimento marinho se constitui, portanto, como ótimo, sensível e preciso indicador para a avaliação e monitoramento de contaminantes em ambientes aquáticos costeiros (Ergin et al., 1991; Balls et al., 1997; Atgın et al., 2000, citados por Pekey et al., 2004).

A sedimentação do material particulado constituído por minerais, matéria orgânica e contaminantes como metais pesados e poluentes orgânicos persistentes (POPs), dentre outras substâncias, por meio da floculação em ambientes aquáticos de baixa hidrodinâmica, caracteriza esses depósitos sedimentares como sumidouros ou reservatórios de contaminantes. E, ao mesmo tempo, como fonte desses poluentes quando são ressuspensos e remobilizados, tornando-os disponíveis para a biota do sistema aquático, na dependência das transformações biogeoquímicas e condições físico-químicas locais (Elhadj et al., 2024; Luo et al., 2022).

Adicionalmente, o pacote sedimentar constitui um compartimento dos ecossistemas aquáticos com elevada diversidade e produtividade biológica. É utilizado como habitat por diversas espécies e desempenha importante papel para

os demais compartimentos: água, vegetação e biota animal, exercendo papel destacado para a biocenose que vive no seu interior, superfície e na interface sedimento - água (Lemos, 2015).

Em decorrência de tamanha importância, o sedimento contaminado passou a representar, com o passar do tempo, sério problema contemporâneo presente em todas as regiões estuarinas e costeiras. Principalmente onde atividades industriais e urbanas são significativas e constituem fontes de contaminantes e poluentes introduzidos por essas atividades.

A título de esclarecimento, é importante registrar que um contaminante é um “agente indesejável introduzido no meio onde, anteriormente, essa substância não estava presente naquela concentração”. Já um poluente pode ser considerado o “efeito, geralmente danoso, causado por uma substância quando introduzida no meio” (ACIESP, 1997).

A avaliação da presença e dos níveis de contaminação de poluentes, como metais pesados, por exemplo, em um depósito sedimentar, demanda a definição dos valores naturais, ou basais, também denominados “background”, dessas substâncias. Isto é, os valores anteriores à introdução dos contaminantes pelas atividades antropogênicas presentes na região.

O “background”, ou nível de base, pode ser definido como a concentração de metais pesados em sedimento pristino – relacionado a um estado anterior, primevo, sem influências antrópicas - “enriquecidos” a partir de dado momento e até o presente mediante a introdução de metais pesados. O aumento da concentração no sedimento, em níveis excedentes ao existente nos períodos pré-antropogênicos, é denominado como “Fator de Enriquecimento” e possibilita avaliar a magnitude das contribuições e impactos humanos (Birch, 2017).

Enriquecimento antropogênico, por sua vez, é definido como a relação entre a concentração atual de metais pesados e o nível de base, ou background, original da região. Pode ser expresso como enriquecimento médio ou máximo e indica a magnitude da interferência antropogênica a partir do nível de base local (Birch, 2017).

Os termos “background” e “enriquecimento” têm sido mais frequentemente utilizados para avaliar a qualidade do ambiente sedimentar. Bem como para auxiliar

na identificação de medidas voltadas para a recuperação da qualidade ambiental do sedimento, visando, idealmente, manter as concentrações semelhantes aos valores anteriores, próximos aos níveis prístinos (Birch, 2017).

Pesquisadores australianos e neozelandeses recomendam utilizar as concentrações basais de metais pesados, ou “background”, específicas e individualizadas para o ambiente estudado, comparadas com aquelas obtidas em áreas pristinas, desde que o sedimento apresente granulometria e conteúdo de matéria orgânica semelhantes aos da área em comparação (Birch, 2017).

Com a identificação dos valores basais, ou “background”, passa-se a dispor de referências orientadoras para subsidiar a elaboração de normas técnicas e legislação, definindo níveis de contaminação e a toxicidade no sedimento. De posse dessas informações, podem ser estabelecidos valores toleráveis a serem respeitados, avaliados regularmente mediante monitoramentos periódicos para determinação da qualidade ambiental, planejamento de dragagem e disposição do material dragado, de acordo com as características e fragilidades ambientais, tipos de usos pretendidos e as determinações normativas (Lemos, 2015).

Em ambientes costeiros e, principalmente, ecossistemas estuarinos, bivalves filtradores como mexilhões e ostras acumulam metais-traços e compostos orgânicos tanto na forma dissolvida como particulada, em suspensão. Devido a essas características, podem ser utilizados como bioindicadores de poluição e para avaliação da toxicidade do ambiente e da fauna exposta a ele, de acordo com Curtius et al. (2003), citado por Lemos (2015).

Ao considerar a matriz água, seja doce, salobra ou salina, e o sedimento presente no substrato, contaminados por misturas de metais pesados, há que se dedicar maior atenção à avaliação dos impactos e efeitos ao ambiente e à saúde dos organismos, principalmente aqueles utilizados como recursos biológicos renováveis (moluscos, crustáceos e peixes) e alimento pela sociedade e, principalmente, pescadores e coletores artesanais que deles dependem para manutenção dos seus meios de vida, metabolismos individuais e sociais, além da tradição e cultura.

4.2. Principais características e fontes autogênicas de metais pesados nas regiões hidrográficas e baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande

A presente seção delineia o contexto regional, abarcando as três baías estudadas a partir das principais características, processos e dinâmicas afeitas à geologia, geomorfologia e relevo, clima, comportamento hídrico e solos como fornecedores de metais pesados de origem autogênica ao considerar a região emersa. Na área costeira e oceânica adjacente, descreve a oceanografia regional, os principais indicadores decorrentes da variação relativa do nível do mar e os ecossistemas costeiros resultantes desses processos, incluindo os principais componentes da biocenose responsáveis pela sua distintividade. E, subsequentemente, particularizar cada uma das regiões hidrográficas em que se inserem as baías fluminenses, a partir das suas principais características físicas, hidrográficas, hidrodinâmicas, oceanográficas locais e sedimentológicas.

4.2.1. Caracterização regional

A descrição a seguir apresentada toma em consideração o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, além de Planos de Recursos Hídricos das três regiões hidrográficas consideradas.

Foi, portanto, elaborado a partir de dados secundários para a descrição das condicionantes ambientais do território estadual e dos aspectos relevantes para a gestão dos recursos hídricos das regiões hidrográficas consideradas, incluindo informações de bacias compartilhadas com o estado de São Paulo (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a).

O estado do Rio de Janeiro apresenta cerca de 1.160 km de linha de costa, ou contorno litorâneo do território continental, abriga três grandes baías – Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande – e conta com 614 ilhas na região costeira (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a).

Esse conjunto de ilhas abarca área de cerca de 367 km^2 e a maioria delas, aproximadamente 96%, com menos de 1 km^2 de superfície. Dentre elas, destaca-se Ilha Grande, a maior delas, com cerca de 180 km^2, situada na baía de mesmo nome.

Na Baía de Ilha Grande estão assentadas 241 ilhas costeiras, seguida pela Baía de Sepetiba, com 147; Baía de Guanabara, com 98; a Região dos Lagos, com

76; e, já no litoral leste/nordeste, mais 52 ilhas concentradas em Rio das Ostras e Macaé, totalizando as 614 citadas (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a).

Além da Ilha Grande, também merece destaque, graças às dimensões que apresenta, a Ilha da Marambaia, situada na restinga do mesmo nome, separando a Baía de Sepetiba do mar, com área de 78 km² (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014).

No que respeita ao território continental, o estado do Rio de Janeiro foi dividido, tendo em conta as iniciativas voltadas para a gestão dos recursos hídricos, em 10 regiões hidrográficas por meio da Resolução n.° 18/2006 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI-RJ), posteriormente agrupando duas delas (IX e X) em somente uma e resultando, na configuração atualizada, em nove regiões hidrográficas de acordo com a Resolução CERHI n.° 107, de 22/05/2013, Figura 6.

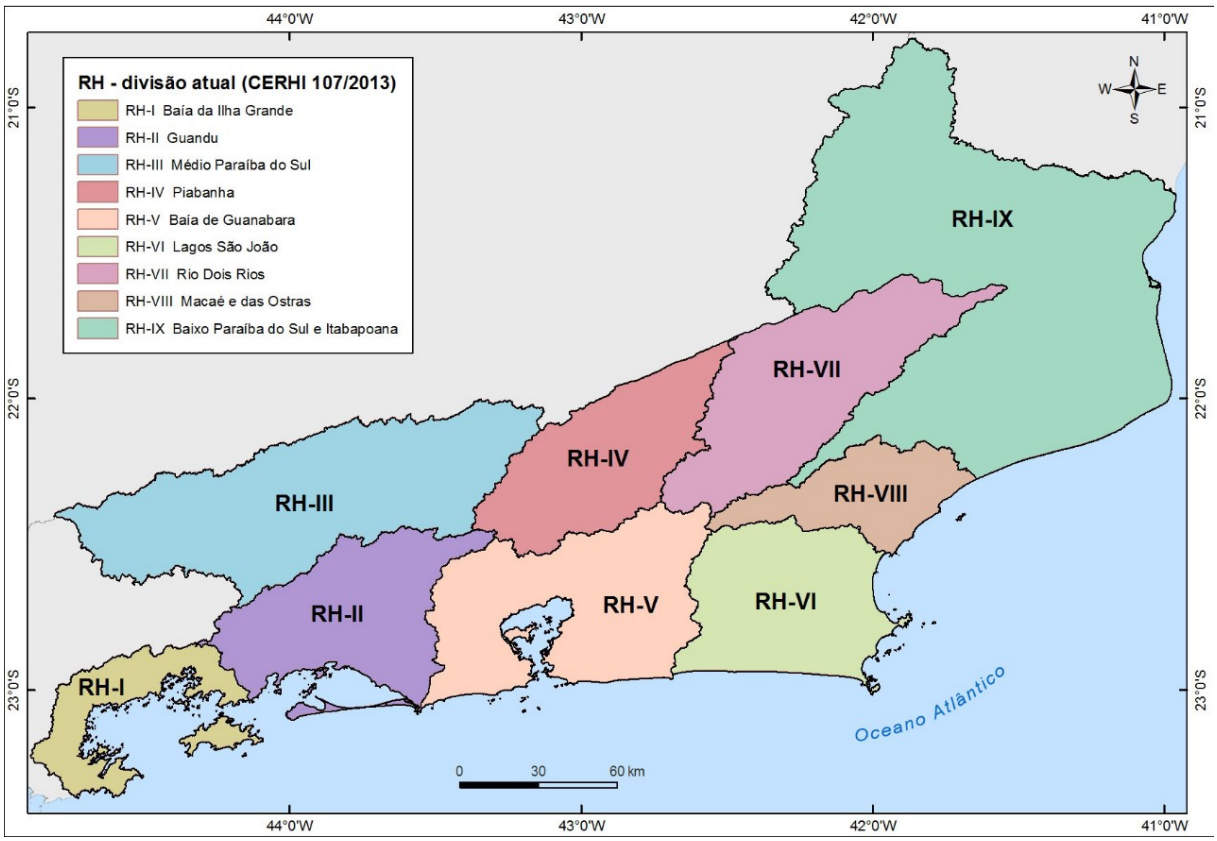


Figura 6. Regiões hidrográficas do território fluminense, de acordo com a Res. CERHI n° 107/2013. Fonte: Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014).

Importante ressaltar que os limites das regiões hidrográficas não coincidem com as regiões administrativas do governo do Estado, Figura 7, e impossibilitam, na

presente fase, o detalhamento de informações a respeito de muitas fontes de contaminantes e poluentes presentes em terra.

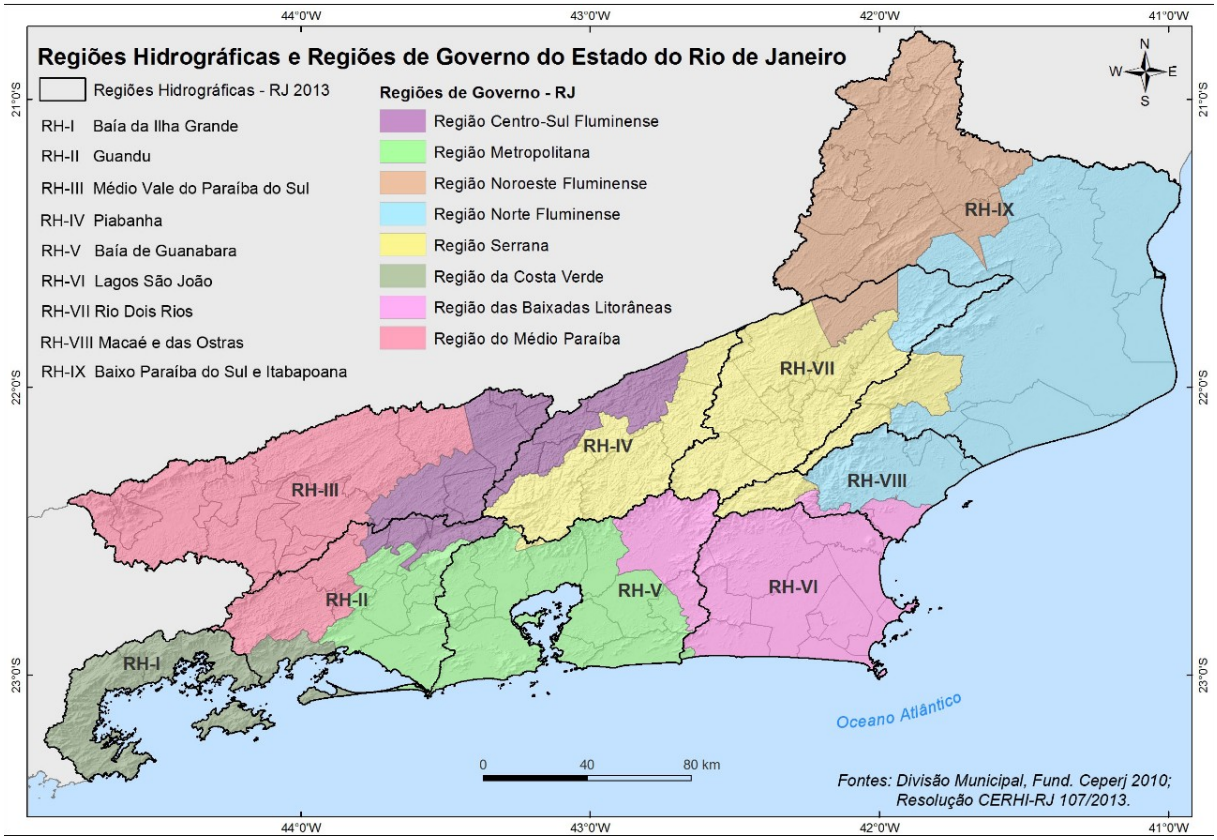


Figura 7. Limites e áreas abarcadas pelas regiões hidrográficas e regiões de governo do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014a).

As oito Regiões de Governo foram definidas com o objetivo de orientar as ações do executivo estadual para “desenvolver os municípios, melhorando as condições de vida de seus habitantes” (CEPERJ, s/d).

Nesse contexto, o foco do presente estudo contempla as três baías fluminenses e três regiões hidrográficas do Rio de Janeiro em que estão inseridas, Figura 8, constituídas por municípios integral ou parcialmente inscritos, além de extensa rede hídrica, Quadro 15.

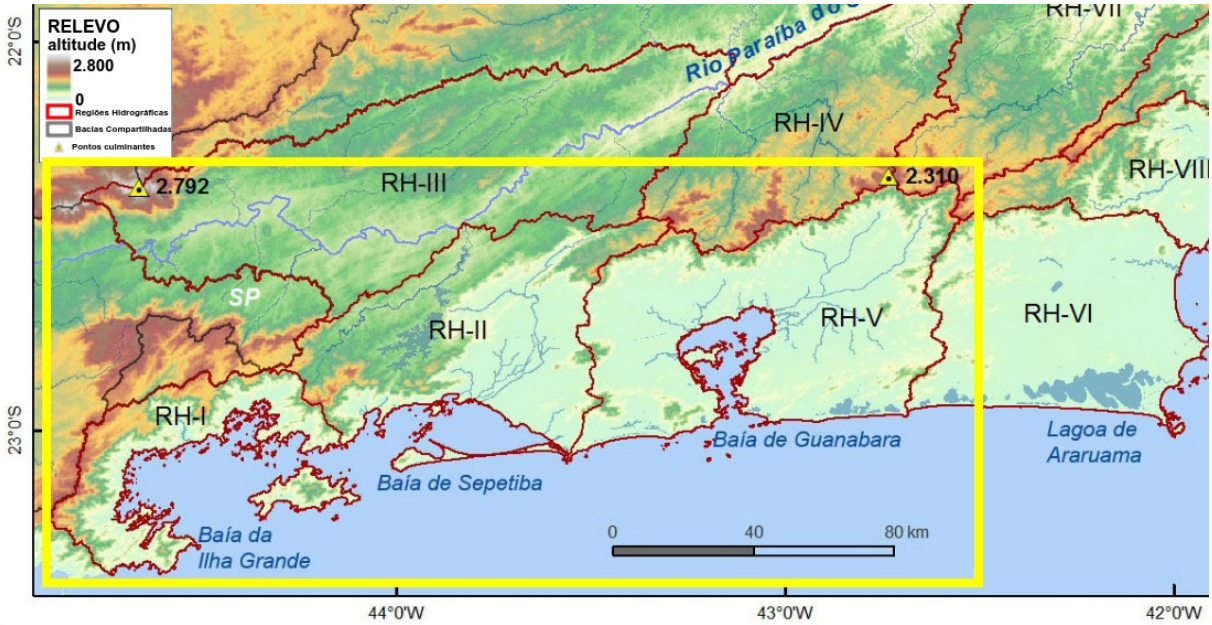


Figura 8. Limites das regiões hidrográficas (RHs) V – Baía de Guanabara, II – Guandu/ Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, apresentando gradiente de altitude. Fonte: NASA/SRTM/IBGE, citados por Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014).

Quadro 15. regiões hidrográficas (RHs), municípios inscritos e principais tributários das bacias hidrográficas. Fonte: (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a; MPRJ, *[S.d.]*; PRH-BIG, 2019; Santos et al., 2008)

Região Hidrográfica	Municípios	Principais Bacias Hidrográficas
RH-I Baía de Ilha Grande	Totalmente inscritos: Paraty e Angra dos Reis. Parcialmente inscrito: Mangaratiba.	Bacias contribuintes à Baía de Parati, bacia do rio Mambucaba, bacias contribuintes à Enseada de Bracuí, bacia do Bracuí, bacias contribuintes à Baía da Ribeira, bacias da Ilha Grande, bacia do rio Conceição de Jacareí.
RH-II Guandu	Totalmente inscritos: Engenheiro Paulo de Frontin, Itaguaí, Japeri, Paracambi, Queimados e Seropédica. Parcialmente inscritos: Barra do Piraí, Mangaratiba, Mendes, Miguel Pereira, Nova Iguaçu, Piraí, Rio Claro, Rio de Janeiro e Vassouras.	Bacia do rio Santana, bacia do rio São Pedro, bacia do rio Macaco, bacia do Ribeirão das Lajes, bacia do Guandu (Canal São Francisco), bacia do Rio da Guarda, bacias contribuintes à Represa de Ribeirão das Lajes, bacia do Canal do Guandu, bacia do Guandu-Mirim, bacias Contribuintes ao litoral de mangaratiba e Itacurussá, bacia do Mazomba, bacia do Piraquê ou Cabuçu, bacia do Canal do Itá, bacia do Ponto, bacia do Portinho, bacias da Restinga de Marambaia, bacia do Piraí.
RH-V Baía de Guanabara	Totalmente inscritos: Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, Tanguá, Guapimirim, Magé, Duque de Caxias, Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti, Nilópolis. Parcialmente inscritos: Maricá, Rio Bonito, Cachoeira de Macacu, Petrópolis, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro.	Bacias contribuintes às lagunas de Itaipu e Piratininga, bacia do Guaxindiba - Alcântara, bacia do Caceribu, bacia do Guapimirim-Macacu, bacia do Roncador ou Santo Aleixo, bacia do Iriri, bacia do Suruí, bacia do Estrela, Inhomirim, Saracuruna, bacias contribuintes à praia de Mauá, bacia do Iguaçu, bacia do Pavuna - Meriti, bacias da Ilha do Governador, bacia do Irajá, bacia do Faria-Timbó, bacias drenantes da vertente norte da Serra da Carioca, bacias drenantes da vertente sul da Serra da Carioca, bacias contribuintes à praia de São Conrado, bacias contribuintes ao Complexo Lagunar de Jacarepaguá.

Devido à vasta extensão territorial, as RHs apresentam complexa unidade funcional baseada em cursos d'água e áreas de drenagem, cada qual com particularidades físicas, ecológicas, funcionais, sociais e econômicas. Para refinar a análise e superar as dificuldades para compreensão, as RHs foram subdivididas em Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs), Inea (2019).

A adoção dessa subdivisão passou a complementar a estruturação de Planos de Recursos Hídricos e de Bacias, principalmente no que se refere aos aspectos hidrológicos, sem se caracterizar como mais uma unidade de gestão.

Dentre os objetivos pretendidos, almeja subsidiar o planejamento de ações condizentes com a situação diagnosticada. Coloca-se, portanto, como ferramenta de gestão complementar às análises hidrológicas obtidas a partir da caracterização das UHPs, porém em escala maior (PRH-BIG, 2019).

A definição das áreas representativas para o estudo dos recursos hídricos pressupõe a identificação das características físicas, socioeconômicas, político-administrativas e institucionais da região de interesse.

E, a partir dessas características, procura identificar áreas homogêneas pela direta relação que apresentam com os recursos hídricos e sua qualidade, a partir de características distintivas passíveis de possibilitar a subdivisão do território ou bacia hidrográfica da região considerada.

As principais informações utilizadas para a caracterização desse território referem-se à:

- Hidrografia;
- Altimetria;
- Uso e Cobertura da Terra;
- Geologia;
- Captações de água;
- Dominialidade dos cursos d'água;
- outras subdivisões e zoneamento já existentes estabelecidos pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI) e Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro (ZEEC);
- Limites municipais e estaduais; e
- Localidades, principalmente (PRH-BIG, 2019).

A partir desse método de abordagem do território, as RH V, II e I foram subdivididas nas Unidades Hidrológicas de Planejamento a seguir:

- Região Hidrográfica V (RH V) – Baía de Guanabara, onde está inscrita a baía de mesmo nome e, graças às suas dimensões, complexidade de atividades e notáveis diferenças nas atividades e usos da terra, justificou a divisão em seis sub-regiões, cada uma contando com um subcomitê para atuar dentro dos seus limites, e 11 Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs), Figura 9 (AGEVAP; CBH-BG, 2020);
- Região Hidrográfica II (RH II) Guandu – Baía de Sepetiba, englobando 13 Unidades Hidrológicas de Planejamento, Figura 10 (PROFILL Engenharia, 2017); e
- Região Hidrográfica I (RH I) Baía de Ilha Grande – BIG – Baía de Ilha Grande, com 14 UHPs, Figura 11.

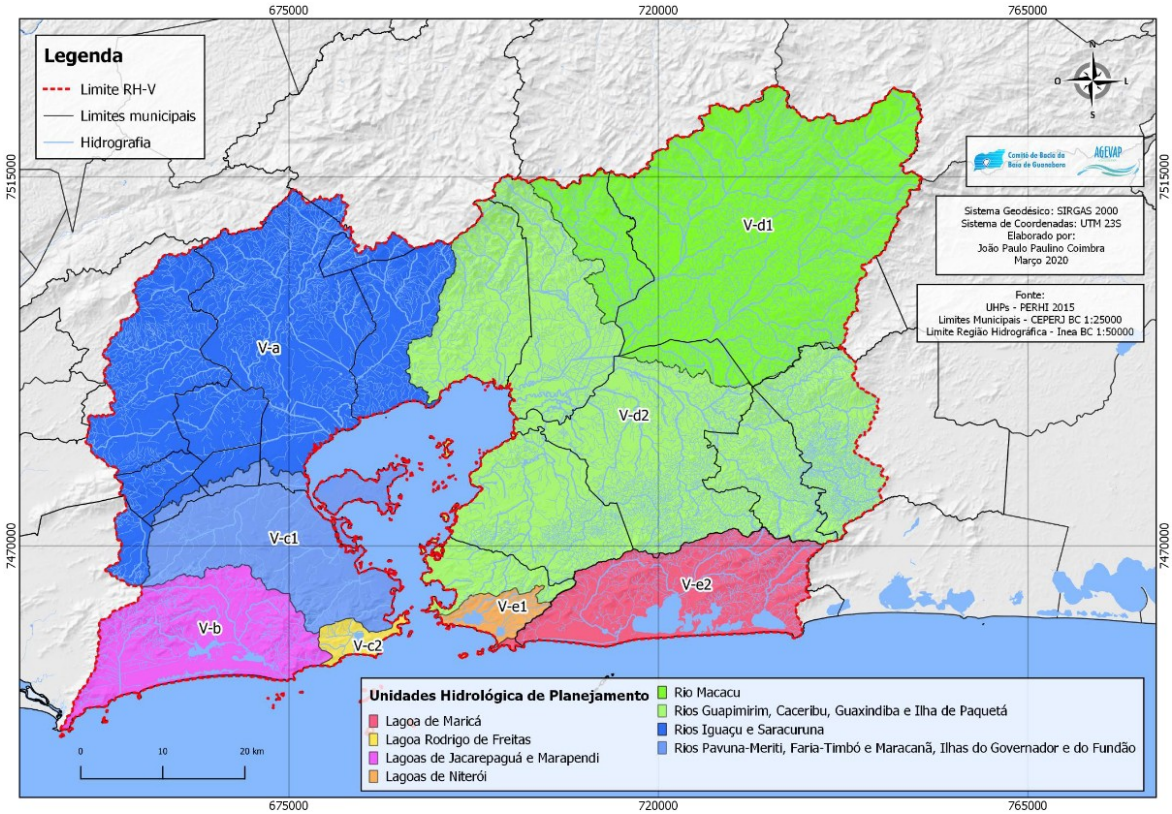


Figura 9. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) da Região Hidrográfica V - Baía de Ilha Grande. Fonte: Coimbra et al. (2021).

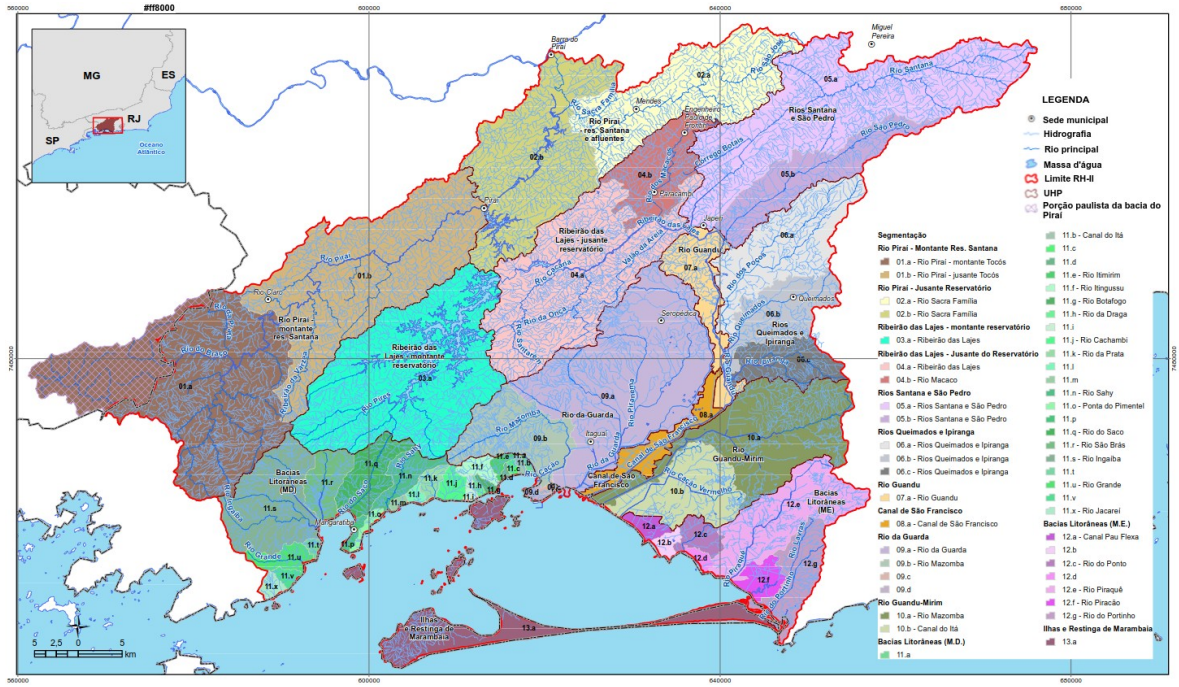


Figura 10. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) da Região Hidrográfica II – Guandu e Baía de Sepetiba. Fonte: PROFILL Engenharia (2017).

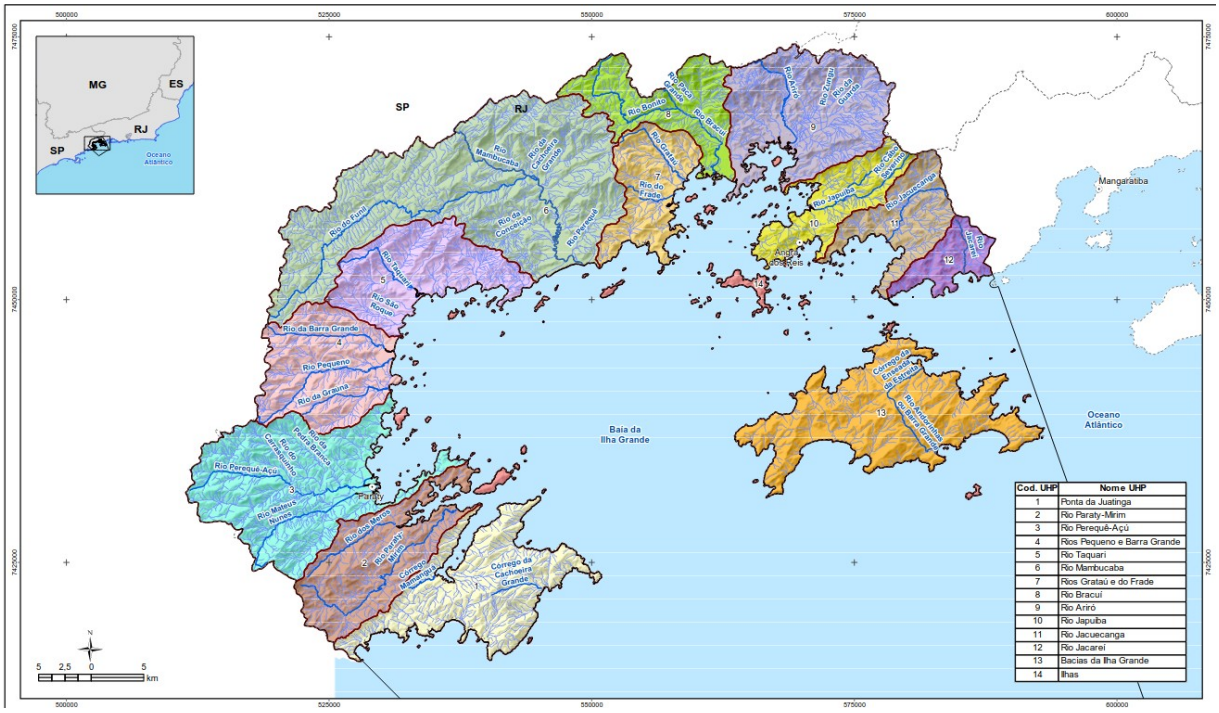


Figura 11. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) da Região Hidrográfica I - Baía de Ilha Grande. Fonte: PRH-BIG (2019).

4.2.1.1. Geologia

Fundamentada, abrangente e aprofundada descrição da geologia e dos eventos tectônicos, magmáticos, termais, químicos, metamórficos e estruturais atuantes na região sudeste brasileira e, particularmente, na região do estado do Rio de Janeiro, pode ser compreendida a partir de farta bibliografia disponível, apresentada na síntese realizada pelo volume Geologia do Estado do Rio de Janeiro (Silva et al., 2001).

Adicionalmente, material complementar a respeito desse tema poderá ser acessado em outras publicações realizadas a partir de revisão e dados secundários (Dantas et al., 2000a; Fonseca; Neto; Pompermayer, 2021; Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014.a).

A região de interesse, regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, está inscrita no Domínio Serra do Mar, presente na porção central e oriental do Estado do Rio de Janeiro, constituída por diversos arcos magmáticos, tais como Arco Rio Negro, Arco Serra dos Órgãos e o Arco Rio de Janeiro.

A gênese dessa região decorre do rifteamento da região sudeste do Brasil, com a consequente formação do Planalto Atlântico e Graben da Guanabara, como resultado da tectônica extensiva resultante da separação do Gondwana e constituição do Oceano Atlântico.

Caracterizou-se por intensa atividade tectônica que se intercalou, ao longo do tempo, com períodos de estabilidade, nos quais os processos erosivos e de denudação puderam moldar o terreno (AGEVAP; CBH-BG, 2020; Valeriano et al., 2012).

A geologia está afeita à Faixa Ribeira, entre o Terreno Oriental, ou Domínio Costeiro, e o Arco Magmático Rio Negro, Figura 12, estruturado a partir da evolução geológica agrupada em três fases (AGEVAP; CBH-BG, 2020).

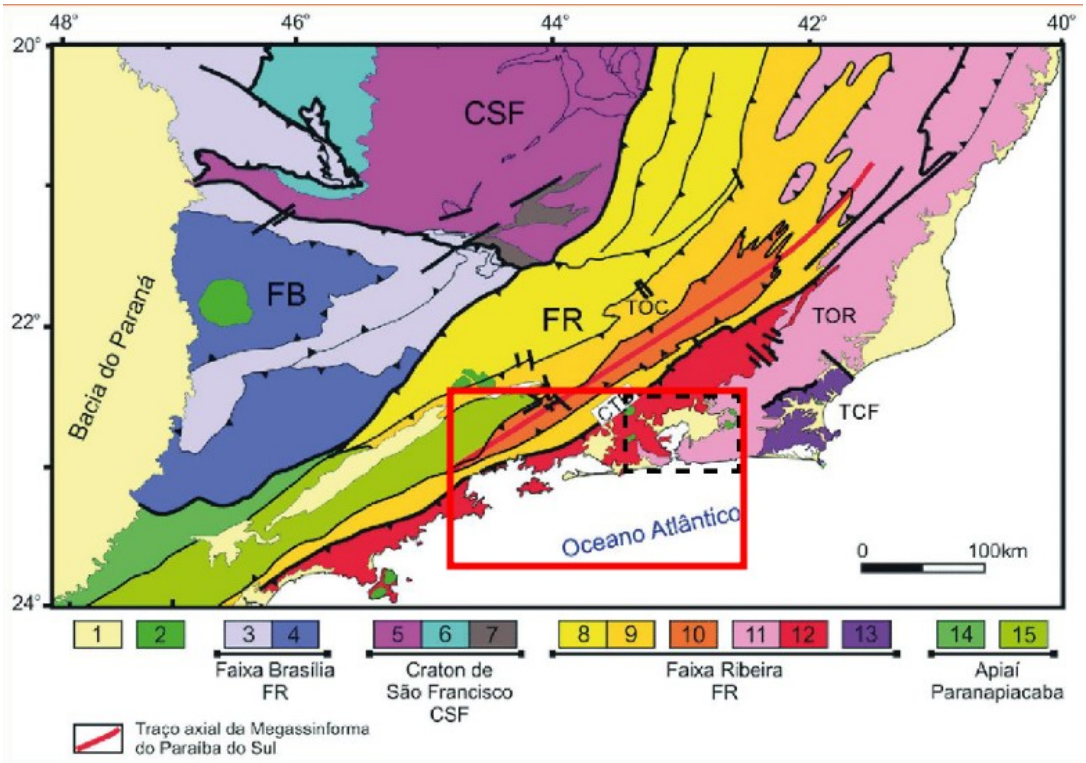


Figura 12. 1) Riftes e coberturas cenozoicos; (2) Rochas alcalinas do Cretáceo e Paleógeno; (3) Nappes inferiores; (4) Nappes superiores; (5) Embasamento do CSF e Domínio Autóctone; (6) Supergrupo São Francisco; (7) Metassedimentos do Domínio Autóctone; (8) e (9) Terreno Ocidental (TOC); (Domínios Andrelândia e Juiz de Fora); (10) Klippe Paraíba do Sul; (11) Terreno Oriental (TOR); (12) Granitoides do Arco Magmático Rio Negro; (13) Terreno Cabo Frio (TCF); (14) Terrenos São Roque e Açungui; (15) Terreno Embu; Central Tectonic Boundary (CTB). Fonte: AGEVAP; CBH-BG (2020a).

A primeira fase corresponde à formação da Faixa Ribeira, ao longo da Orogenia Brasiliana e consequente formação do supercontinente Gondwana. A segunda decorre da fragmentação posterior do supercontinente e formação do Oceano Atlântico, com suas bacias sedimentares marginais. E a terceira e última, associada à reativação tectônica da Margem Sudeste Brasileira e ocorrência do Rift Continental do Sudeste Brasileiro, originou o Graben de Guanabara, no qual se insere a baía de mesmo nome, com os Domínios Tecnomagmáticos ilustrados na Figura 13, informam AGEVAP/CBH-BG (2020), CPRM (2001), Riccomini (1989).

Nesses Domínios, ocorre o predomínio de embasamento cristalino do Paleozóico e do Proterozóico, abarcando, ainda, o Complexo Paraíba do Sul, caracterizado por rochas supracrustais submetidas a metamorfismo de baixa pressão e alta temperatura. É parcialmente recoberto por solos residuais e depósitos recentes de tálus e colúvio nas áreas de relevo montanhoso da Serra do Mar,

escarpas e ilhas costeiras (Silva et al., 2001).

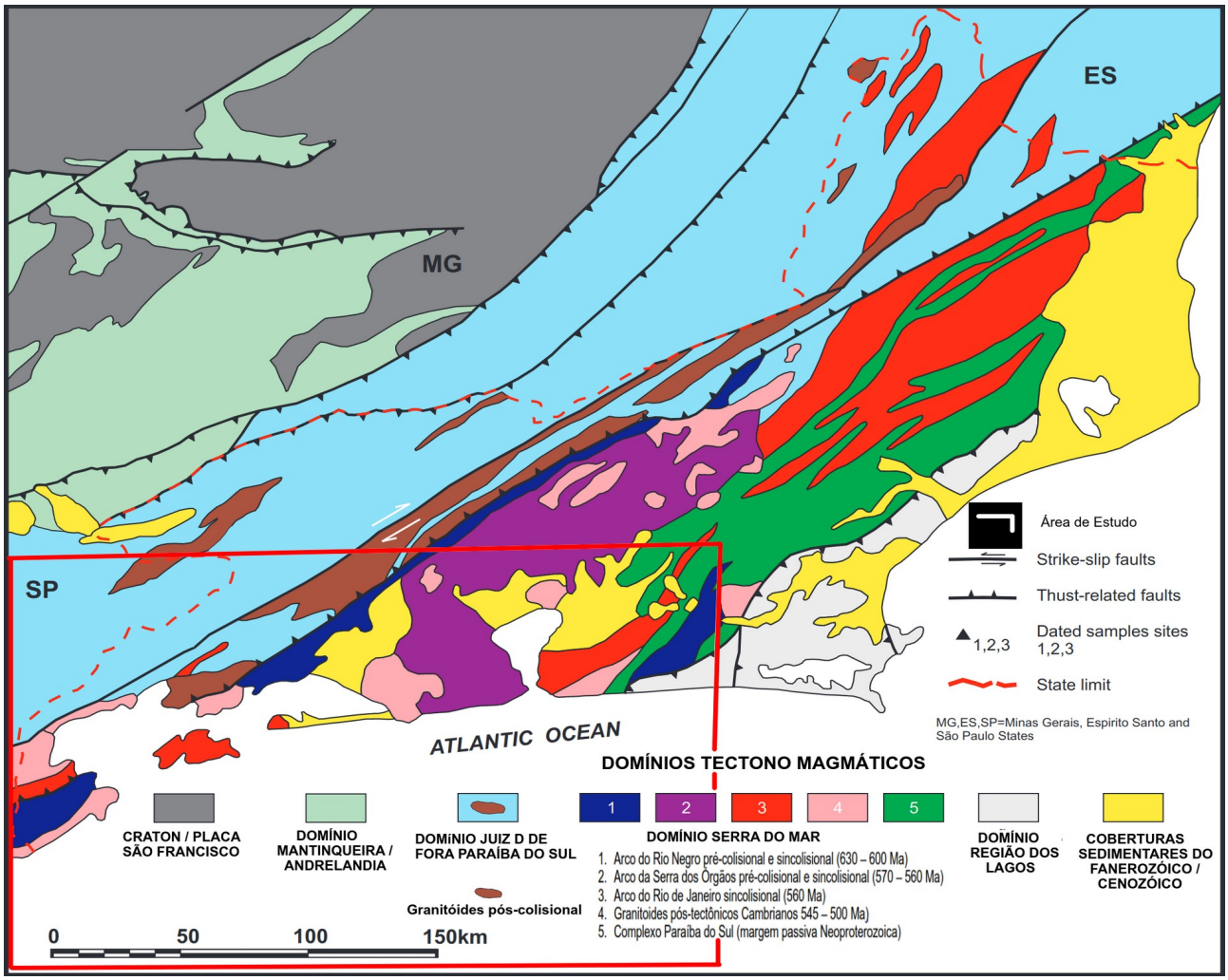


Figura 13. Domínios tectonomagmáticos do estado do Rio de Janeiro e, no interior do perímetro na cor vermelha, a área de interesse. Fonte: adaptado de CPRM (2001),

A evolução e dinâmica da paisagem, bem como o relevo da área de entorno das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande, remetem-se a eventos ocorridos em distintas escalas espaciais e temporais, diretamente relacionados à intrincada e controvertida origem e evolução das serras do Mar e da Mantiqueira. E originou o que passou a ser denominado como Planalto Atlântico (Valeriano et al., 2012).

Na região de interesse estão presentes as formações geológicas e tipos de rochas apresentados na Figura 14.

A legenda, extensa, complexa e com informações direcionadas principalmente aos pesquisadores atuantes na área de geologia, foi suprimida do Mapa Geológico e está disponível em

https://rigeo.sgb.gov.br/server/api/core/bitstreams/1f380096-51db-4af7-9fc6-0df06d1fe7cb/content, página 94.

No que se refere ao objetivo do presente trabalho, nos relatórios e documentos analisados não foram identificadas informações relacionadas à presença de metais pesados na constituição dos diversos tipos de rochas das formações e unidades geológicas presentes na área de interesse.

A análise detalhada da constituição química e mineralógica das referidas rochas pode contribuir para a identificação de fontes autogênicas de metais pesados na região.

Aspecto a ser esclarecido em contato a ser feito com os autores das publicações consultadas.

4.2.1.2. Geomorfologia

O Estado do Rio de Janeiro distingue-se por grande diversidade fisiográfica a configurar diversos tipos de paisagem, determinadas pelo relevo e, consequentemente, diferentes formas de atividades antropogênicas passíveis de serem realizadas (Dantas, 2000).

A diversidade e dinâmica geomorfológica, no estado do Rio de Janeiro, têm papel preponderante na definição das regiões hidrográficas e bacias hidrográficas ao determinar as condições físicas, geológicas e botânicas responsáveis pela quantidade e qualidade das águas presentes nas suas coleções hídricas (Dantas, 2000).

O relevo da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara, Figuras 15 e 16, apresenta, como feição predominante, as planícies fluviais e fluviomarinhas com altitude até 20 m.

Bem como os contrafortes das serras escarpadas – Serra dos Órgãos - com altitude superior a 400 m na porção norte, além dos maciços da Tijuca, Pedra Branca e do Mendanha, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

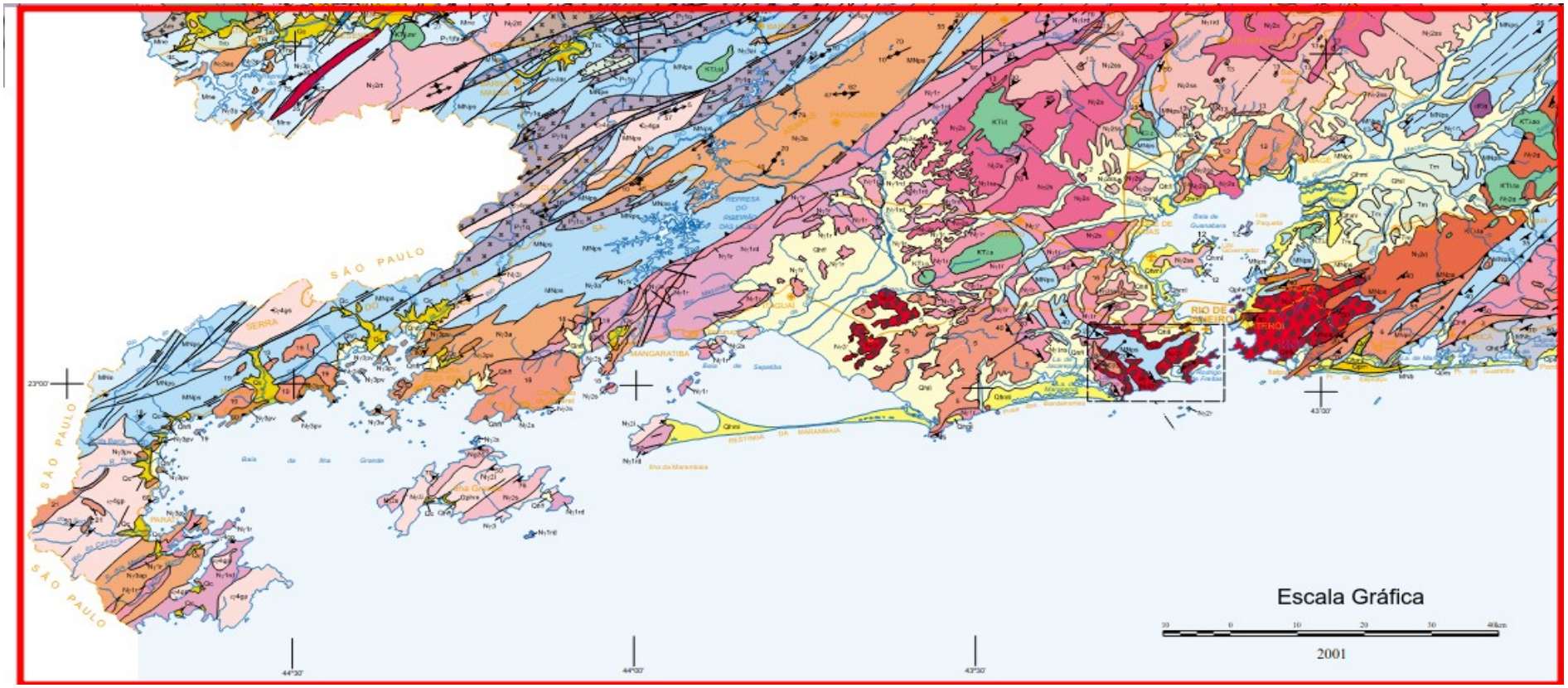


Figura 14. Recorte, com a área de estudo assinalada no quadro com cor vermelha, do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: adaptado de Silva et al. (2001).

Constatam-se, também, colinas, com altitude entre 20 e 100 m, além de morros (100-200 m) dispersos na região. Além de cordões arenosos, dunas e restingas em algumas áreas costeiras, destacam-se aqueles que se encontram entre o mar e as lagoas de Maricá, Piratininga, Itaipu e Jacarepaguá (Coimbra et al., 2021; AGEVAP; CBH-BG, 2020; Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014.a).

A Região Hidrográfica II - Guandu; Baía de Sepetiba, Figuras 15 e 16, apresenta, na sua porção sudoeste e nordeste, montanhas e escarpas da vertente oceânica da Serra do Mar a caracterizar o domínio serrano.

Inclui maciços ao longo da porção costeira na direção N-NE, como Pedra Branca, Mendanha e Ilha da Marambaia, com altitudes que variam entre 200 e 800 m.

Apresenta extensa planície fluviomarinha, no domínio da Baixada, com colinas baixas e altitude sempre inferior a 60 m, além das planícies fluviais dos rios Guandu, da Guarda, Santana e Ribeirão das Lajes, conectando-se com a planície na Baixada Fluminense.

E abarca a Restinga da Marambaia, situada a sudeste, que limita a Baía de Sepetiba do Oceano Atlântico e apresenta feições geomorfológicas costeiras classificadas como cordões arenosos, dunas, praias expostas e abrigadas, além de costões rochosos (Dantas et al., 2000a; Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a; PERH Guandu, 2017).

A Região Hidrográfica I - Baía da Ilha Grande, Figuras 15 e 16, caracteriza-se pelo predomínio de serras escarpadas, com altitude superior a 400 m, próximas ao oceano.

Nas áreas próximas à costa, destacam-se os vales fluviais, onde se situam as planícies fluviais e fluviomarinhas, com altitude de até 20 m.

Na vertente voltada para a Baía de Ilha Grande, destacam-se serras isoladas e de transição, com altimetria variando entre 200 e 400 m, enquanto que na vertente faceada com o estado de São Paulo predominam morros, com altitude entre 100 e 200 m, além de colinas com menor altitude variando entre 20 e 100 m (Bastos; Napoleão, 2011).

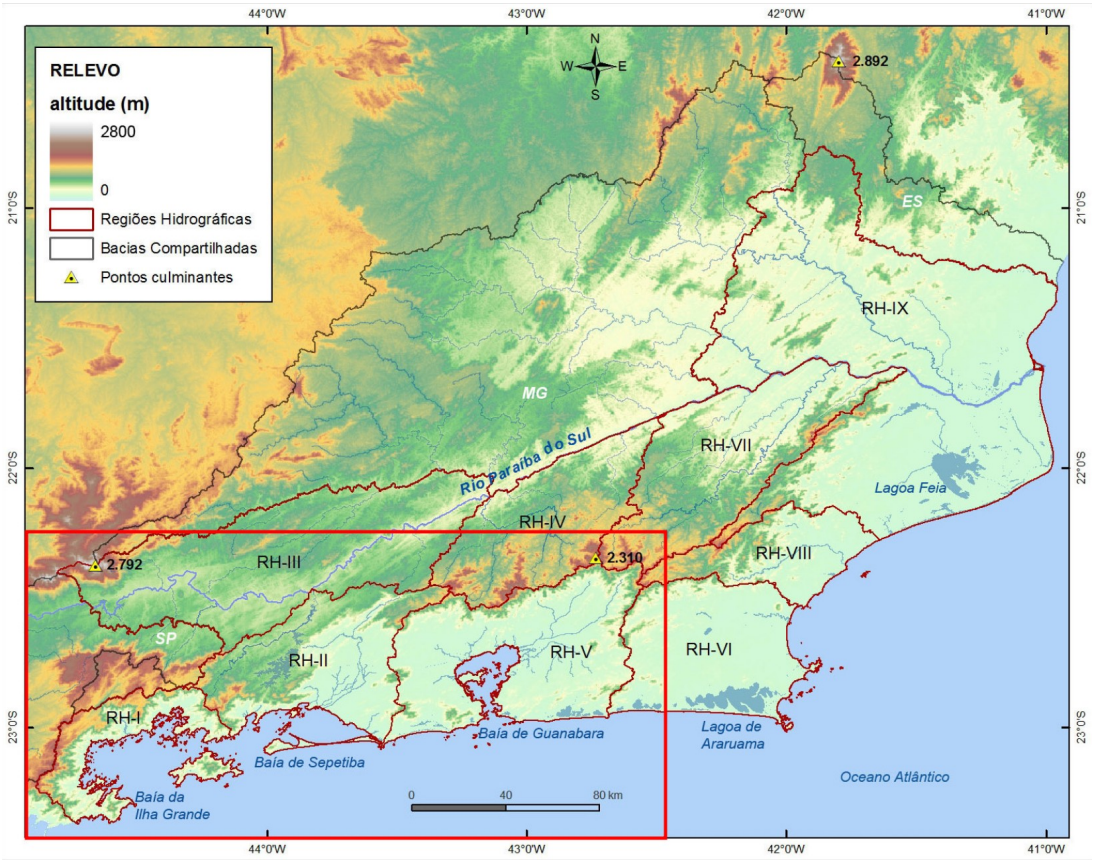


Figura 15. Mapa de gradiente de altitude do estado do Rio de Janeiro e das nove regiões hidrográficas. Fonte: Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014a).

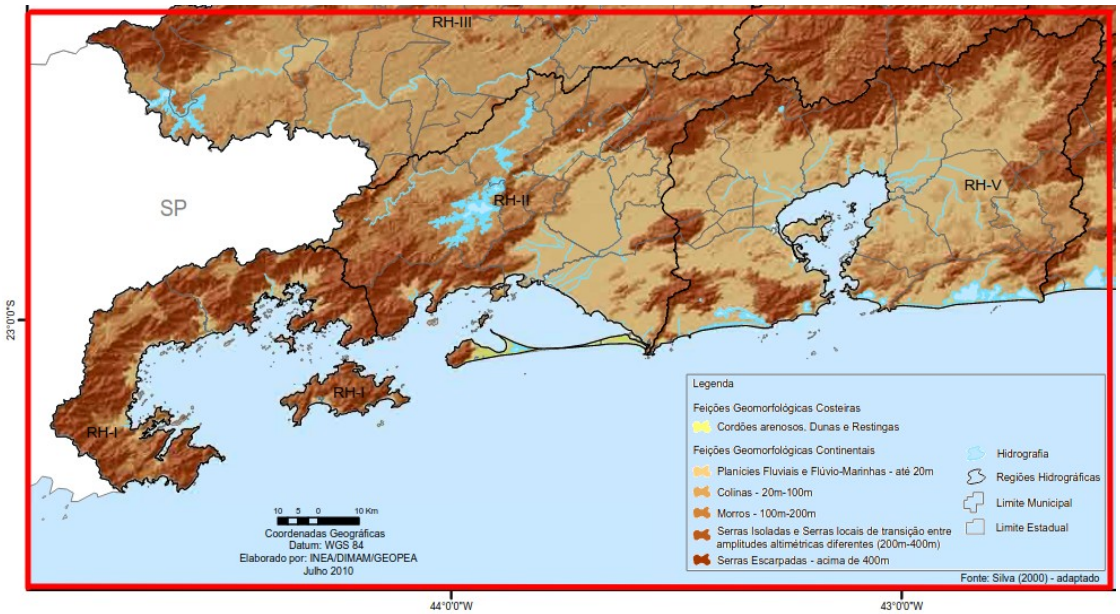


Figura 16. Relevo e principais características geomorfológicas das RHs V, II e I. Fonte: adaptado de Bastos e Napoleão (2011).

A geomorfologia do estado do Rio de Janeiro, muito bem estudada no decorrer dos últimos 80 anos por diversos pesquisadores, produziu vasta coletânea de documentos arrolados por Dantas (2000), a configurar valiosa fonte de informações disponíveis para consulta.

A identificação e caracterização dos sistemas de relevo presentes no estado do Rio de Janeiro se deu a partir das informações morfométricas e, em especial, amplitude de relevo e declividade. Constituem, portanto, referência para a integração de outras variáveis para compreensão dos processos sedimentares, hidrológicos e ambientais atuantes. Propiciam, ademais, informações importantes para estudos geocientíficos aplicados na diagnose ambiental e planejamento territorial (Dantas et al., 2000).

O estado do Rio de Janeiro pode ser compartimentado em duas unidades morfoestruturais:

- Cinturão Orogênico do Atlântico, subdividido em
  - Maciços Costeiros e Interiores;
  - Maciços Alcalinos Intrusivos;
  - Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas;
  - Escarpas Serranas;
  - Planaltos Residuais; e
  - Depressões Interplanálticas com Alinhamentos Serranos Escalonados, Figura 17 e Quadro 16;
- Bacias Sedimentares Cenozóicas segmentadas em
  - Tabuleiros de Bacias Sedimentares;
  - Planícies Fluviomarinhas (Baixadas); e
  - Planícies Costeiras, Figura 17 e Quadro 16.

Para a classificação das formas geomorfológicas do estado do Rio de Janeiro, Figura 18, os autores adotaram o método de trabalho utilizado no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981), proposto por Ponçano et al. (1979) e citado por Dantas (2000).

A partir de texturas, padrões da morfologia e processos no terreno em dois tipos de relevo, como informa Dantas (2000):

- (100) Relevos de Agradação – onde se dá a acumulação de sedimento nas zonas de depressões relativas, responsável por tornar a superfície da litosfera mais uniforme e,
- (200) Relevos de Degradação ou Denudação – regiões nas quais o processo erosional promove o intenso desgaste, ou arrasamento, das rochas, terrenos e formas de relevo da superfície da Terra (Guerra, 1993).

A análise de aerofotografias do terreno possibilitou identificar as formas de relevo com textura e padrão semelhantes, facultando dois tipos de Unidades Morfoestruturais, 10 formas de Unidades Morfoesculturais e 63 Unidades Geomorfológicas no território fluminense, detalhadamente descritas no volume Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro (Dantas, 2000).

Para a área de interesse do presente trabalho, regiões hidrográficas V, II e I, foram identificados os mesmos dois tipos de Unidades Morfoestruturais, oito tipos de Unidades Morfoestruturais, Figura 17, e 12 Unidades Geomorfológicas, Figura 18.

Tal qual constatado na geologia do estado do Rio de Janeiro, e no que diz respeito ao objetivo do presente trabalho, nos relatórios e documentos analisados não foram identificadas informações relacionadas à presença de metais pesados nas diferentes unidades geomorfológicas e formas de relevo presentes na área de interesse.

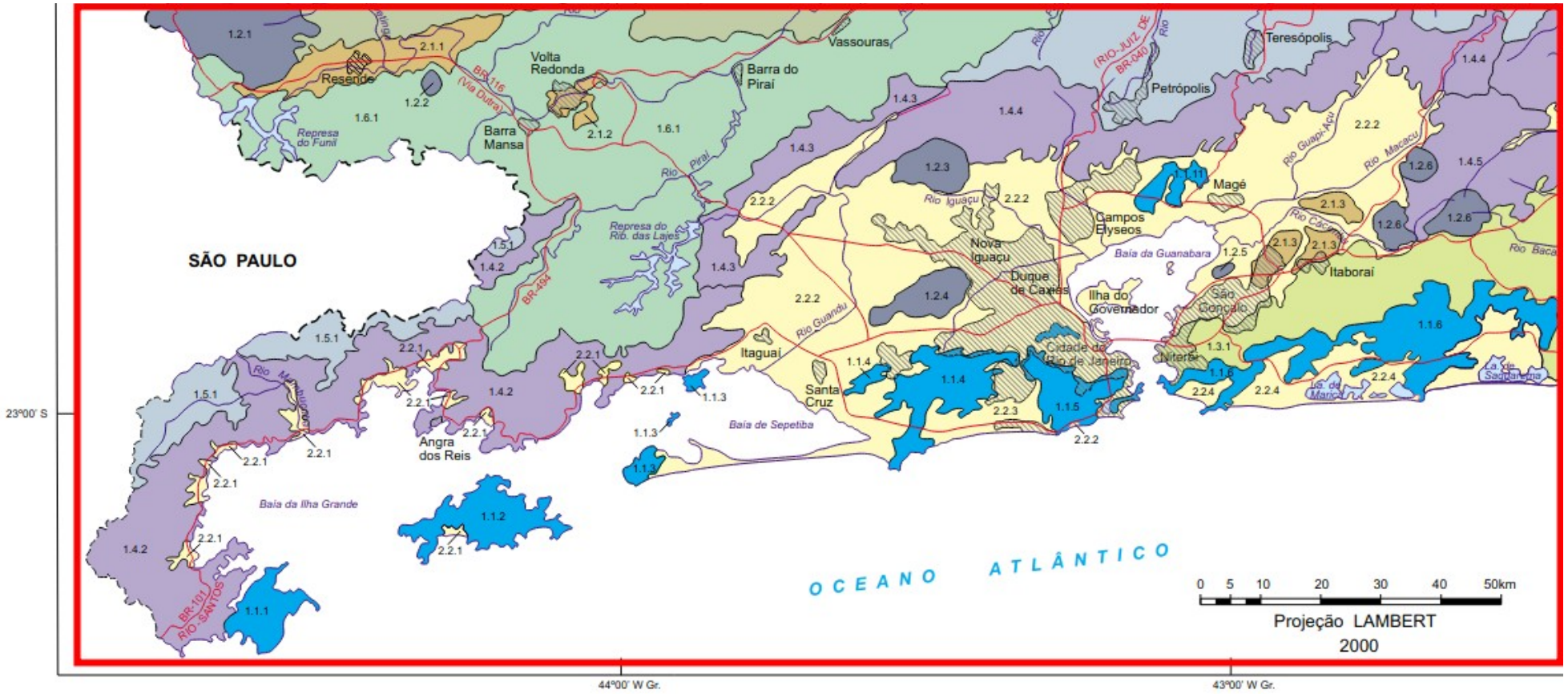


Figura 17. Mapa de Unidades Geomorfológicas da região de interesse, RHs V, II e I. Fonte: extraído do Mapa de Unidades Geomorfológicas do Estado do Rio de Janeiro, Dantas (2000).

Quadro 16. Legenda parcial do Mapa de Unidades Morfológicas da região de interesse, RHs V, II e I. Fonte: adaptado de Dantas (2000).

Domínios Morfoestruturais		
1 – Cinturação Orogênico do Atlântico		
1.1 – Maciços Costeiros e Interiores		
1.1.1	Maciço da Juatinga	
1.1.3	Maciço da Ilha Grande	
1.1.4	Maciços da Ilha da Marambaia, Jaguanum e Itacuruçá	
1.1.4	Maciço da Pedra Branca	
1.1.5	Maciço da Tijuca	
1.1.6	Maciços da Região dos Lagos	
1.1.11	Maciço de Suruí – Contrafortes da Serra do Mar	
1.2 – Maciços Alcalinons Intrusivos		
1.2.3	Maciço do Tinguá	
1.2.4	Maciço do Mendanha	
1.2.5	Maciço de Itaúna	
1.2.6	Maciços de Tanguá e Rio Bonito	
1.3 – Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas		
1.3.1	Superfície Aplainada da Região dos Lagos	
1.4 - Escarpas Serranas		
1.4.2	Escarpa das serras da Bocaína, Mangaratiba e Mazomba	
1.4.3	Escarpa das serras das Araras e Paracambi	
1.4.4	Escarpa das serras do Couto e dos Órgãos	
1.4.5	Espigão das serras de Santana e Botija	
1.5 – Planaltos Residuais		
1.5.1	Planalto da Bocaína	
1.6 – Depressões Interplanálticas		
1.6.1	Depressão do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul	
2- Bacias Sedimentares Cenozóicas		
2.1 – Tabuleiros de Bacias Sedimentares Eo-Cenozóicas		
2.1.3	Bacia de Macacu	
2.2 – Planícies Flúvio-Marinas (Baixadas)		
2.2.1	Baixadas da Baía da Ilha Gande	
2.2.2	Baixadas da Baía de Guanabara, Sepetiba e Restinga da Marambaia	
2.2.3	Baixada de Jacarepaguá	
2.2.4	Baixada da Região dos Lagos	

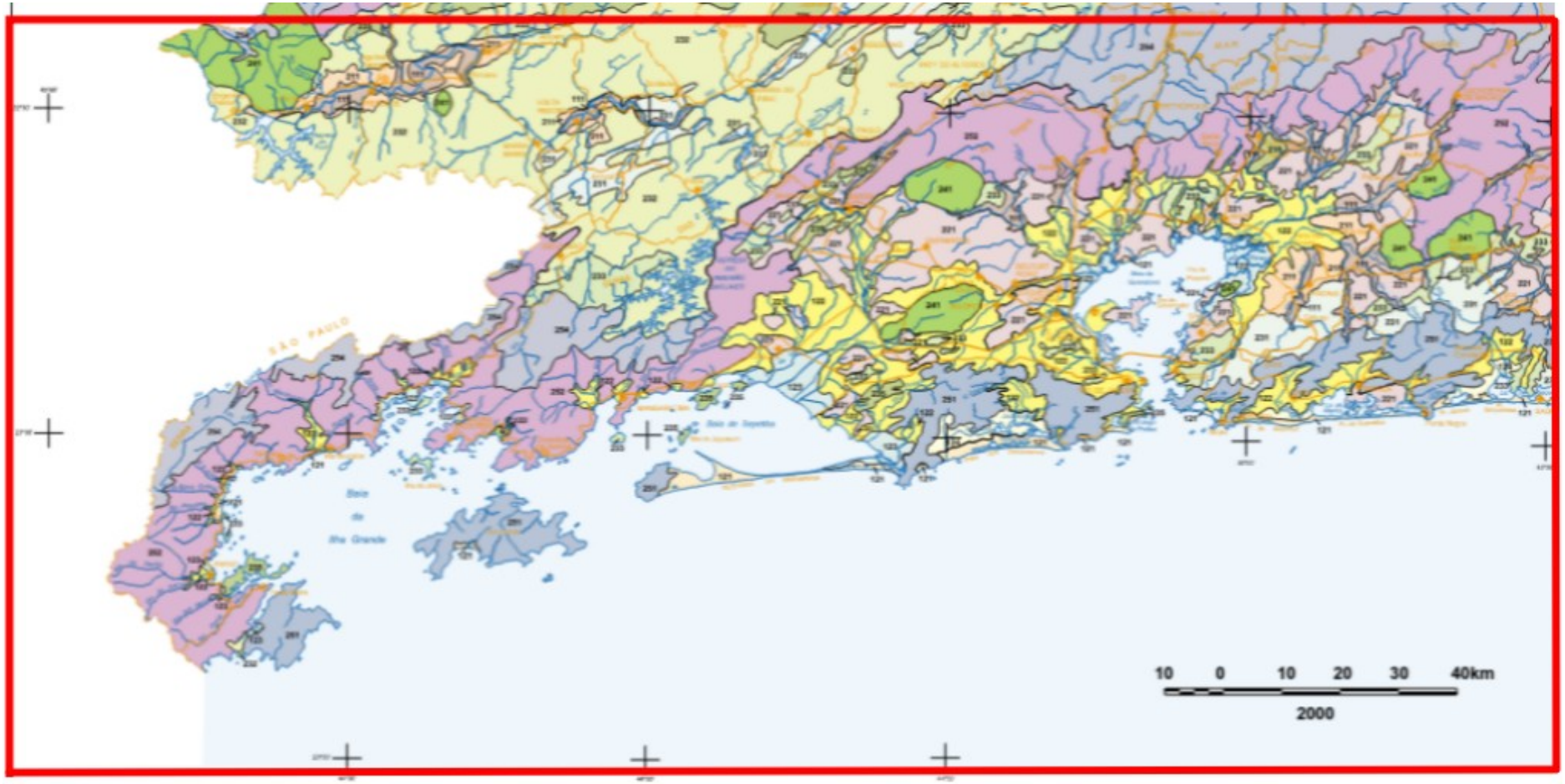


Figura 18. Recorte, com a área de estudo assinalada no quadro com cor vermelha, do Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: adaptado de Dantas et al. (2000).

Quadro 17. Legenda parcial do Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: adaptado de Dantas (2000).

Sistema de Relevo					
Relevos de Agradação		**Metais pesados**	**Relevos de Degradação**		**Metais pesados**
Continentais			**Relevos de degradação em planaltos dissecados ou superfícies aplainadas**		
111	Planícies Aluviais (Planícies de Inundação, Terraços Fluviais e Leques Alúvio-Coluviais). Superfícies suborizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos canais-tronco.		232	Domínio Colinoso (zona típica do domínio de "mar de morros"). Relevo de colinas pouco dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvios e alúvios. Ocorrência subordinada de morrotes alinhados e morros baixos. Densidade de drenagem média com padrão de drenagem variável, de dendrítico a treliça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 100m e gradientes suaves.	
Litorâneos			233	Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos. Relevo de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados e/ou alongados e de morrotes e morros dissecados, com vertentes retilíneas e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação de colúvios e alúvios. Densidade de drenagem média a alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a treliça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas entre 100 e 200m e gradientes suaves a médios.	
121	Planícies Costeiras (Terrenos Arenosos de Terraços Marinhos, Cordões Arenosos e Campos de Dunas). Superfícies suborizontais, com microrrelevo ondulado de amplitudes topográficas inferiores a 20m, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Terrenos bem drenados com padrão de drenagem paralelo, acompanhando as depressões intercordões.		235	Alinhamentos Serranos e Degraus Estruturais. Relevo de patamares litoestruturais, com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas e escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, que se destacam topograficamente do domínio colinoso. Densidade de drenagem alta com padrão de drenagem variável, de paralelo a dendrítico. Predomínio de amplitudes topográficas entre 300 e 700m e gradientes médios a elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha	
122	Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas (Terrenos Argilo-Arenosos das Baixadas) Superfícies subhorizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os Sistemas Deposicionais Continentais (processos fluviais e de encosta) e Marinhos. Terrenos mal drenados com padrão de canais meandrante e divagante. Presença de superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das Baixadas.		**Relevos de degradação sustentados por litologias específicas**		
123	Planícies Flúvio-Marinhas (Terrenos Argilosos Orgânicos de Fundo de Baías ou Enseadas, ou Deltas dominados por Maré). Superfícies planas, de interface com os Sistemas Deposicionais Continentais e Marinhos. Terrenos muito mal drenados com padrão de canais bastante meandrantes e divagantes, sob influência de refluxo de marés.		241	Maciços Intrusivos Alcalinos Relevos dômicos sustentados por Maciços Alcalinos, com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas, com topos arredondados, por vezes preservando uma borda circular (cratera vulcânica erodida). Densidade de drenagem alta com padrão de drenagem radial ou anelar. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 500m e gradientes elevados a muito elevados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus e solos rasos	
124	Planícies Flúvio-Lagunares (Terrenos Argilosos Orgânicos de Paleolagunas Colmatadas). Superfícies planas, de interface com os Sistemas Deposicionais Continentais e Lagunares. Terrenos muito mal drenados com lençol freático subaflorante.		**Relevos de degradação em áreas montanhosas**		
			251	Maciços Costeiros e Interiores Relevo montanhoso, extremamente acidentado, localizado em meio ao domínio das baixadas e planícies costeiras, ou em meio ao domínio colinoso, no caso dos maciços interiores. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Densidade de drenagem alta a muito alta com padrão de drenagem variável, de paralelo a dendrítico, geralmente centrífugo. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 300m e gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha	
			252	Escarpas Serranas. Relevo montanhoso, extremamente acidentado, transicional entre dois sistemas de relevo. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Densidade de drenagem muito alta com padrão de drenagem variável, de paralelo a dendrítico, ou treliça a retangular. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 500m e gradientes muito elevados, com ocorrência de colúvios e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha	
			254	Domínio Montanhoso. Relevo montanhoso, muito acidentado, localizado, em geral, no reverso da escarpa da Serra do Mar. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados. Ocorrência de compartimentos colinosos e/ou de morros, em seções alveolares nos vales principais. Ocorrência pontual de relevo suave ondulado, com elevações locais, localizado nos planaltos elevados das serras do Mar e da Mantiqueira. Densidade de drenagem alta com padrão de drenagem variável, de dendrítico a treliça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas superiores a 400m e gradientes elevados a muito elevados, xom ocorrência de coúviso e depósitos de tálus, solos rasos e afloramentos rochosos.	

4.2.1.3. Clima

A importância dos agentes intempéricos na disponibilização e transporte de sedimento, matéria orgânica, poluentes e, no presente caso, metais pesados, tanto de origem autogênica como antropogênica, está diretamente relacionada ao clima por se constituir em um dos mais importantes agentes intempéricos. Com destaque, dentre eles, para a pluviosidade e temperatura pelo papel exercido junto ao intemperismo físico e químico das rochas, transporte e deposição sedimentar, Quadro 18.

Quadro 18. Síntese do papel e tipo de ação desempenhada pelos agentes meteorológicos na disponibilização de metais pesados no meio.

Agente meteorológico	Papel desempenhado junto à liberação de metais pesados no meio	Tipo de ação
Precipitação pluviométrica	intemperismo físico e químico, lixiviação, transporte, deposição e remobilização	Direta
Vento	intemperismo físico, transporte, deposição e remobilização	Direta
Temperatura	Aceleração intemperismo físico e químico	Indireta
Insolação	Intemperismo físico e energia para reações fotoquímicas	Indireta
Evaporação	Concentração de metais pesados em corpos d'águas	Indireta
Umidade relativa do ar	Formação de chuva e modulação da evaporação	Indireta

Com relação à classificação do clima no Brasil adotada pelo IBGE, constata-se indissociável influência do relevo nas grandes variações climáticas que ocorrem no estado do Rio de Janeiro. O papel determinante das serras do Mar e Mantiqueira, além de ser responsável por grandes precipitações decorrentes da orografia, Figura 19, altera o clima de quente e úmido, nas regiões de planas e colinosas situadas na planície costeira, para mesotérmico nas áreas mais altas e, nas regiões interioranas entre as serras, subquente mais seco (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a).

De acordo com a Classificação de Köppen, o clima da região também pode ser classificado como brando subtropical, com inverno seco, verão quente e chuvoso, nas áreas montanhosas, e tropical quente e úmido nas planícies e baixadas situadas na região costeira, as baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande (Consórcio Ecologus-Agrar, 2005).

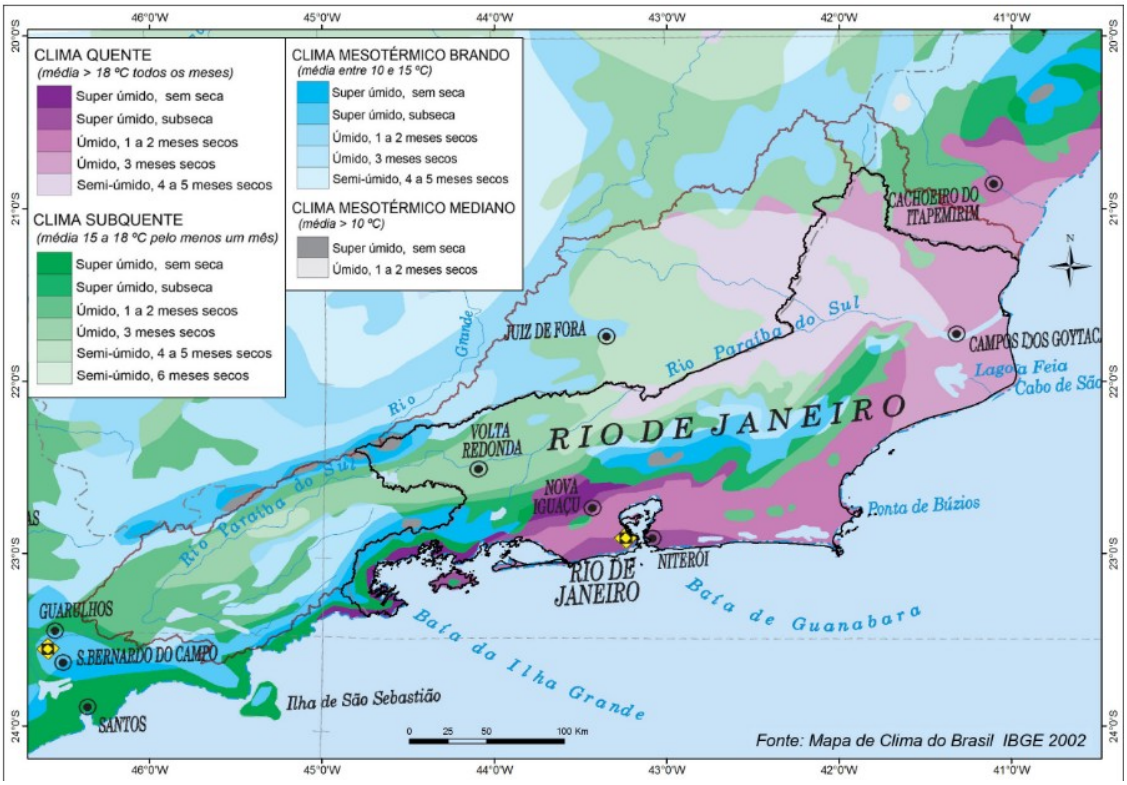


Figura 19. Clima no estado do Rio de Janeiro. Fonte: IBGE (2002), citado por Fundação COPPETEC/Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014a).

Os ventos mais intensos nessa porção do litoral sudeste do Brasil decorrem das brisas marinhas e alíseos de nordeste e leste. Enquanto os alíseos de sudeste estão diretamente associados ao anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS), principalmente no inverno, quando é mais acentuado, resultando em condições mais secas e com ventos mais fortes (Carpenedo; Ambrizzi, 2020).

O clima, adicionalmente, é muito influenciado pelos constantes choques entre as altas pressões tropicais e os sistemas de altas pressões polares. Ocasionalmente afetado pelas oscilações El Niño e La Niña presentes no Oceano Pacífico. No primeiro caso, constatam-se temperaturas bem mais elevadas e precipitações muito mais intensas, podendo resultar em chuvas e enchentes catastróficas. Enquanto na segunda situação, com ar mais seco e frio, menores precipitações pluviométricas (Consórcio Ecologus-Agrar, 2005).

O microclima é típico de região litorânea tropical influenciada por fatores como latitude, topografia, proximidade do mar, cobertura vegetal e, com papel determinante, circulação de larga e mesoescala, como as frentes frias e brisas marinhas. A barreira formada pela Serra do Mar, com altitudes médias em torno de

900 metros, provoca aumento da turbulência do ar e forma nuvens convectivas muito desenvolvidas, responsáveis por chuvas orográficas, principalmente no verão (AGEVAP/CBH-BG, 2020; Consórcio Ecologus-Agrar, 2005).

As chuvas da região associam-se a eventos atmosféricos decorrentes de frentes frias (ao longo de todo o ano), linhas de instabilidade (principalmente na primavera e verão), além de formações convectivas regionais (também na primavera, verão e outono) originadas de sistemas provenientes do setor norte–noroeste (AGEVAP; CBH-BG, 2020).

A distribuição das chuvas médias no estado do Rio de Janeiro varia ao longo do ano. Nos meses de janeiro – época das chuvas –, a precipitação varia entre 50 e 150 mm nas planícies e 250 mm nas serras. Em agosto – período seco – quando a chuva atinge média pouco superior a 60 mm nas planícies costeiras e valor menor que esse no restante do estado, como pode ser visualizado nas Figuras 20 a 22.

A Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara, no que respeita às características climáticas locais, apresenta temperaturas elevadas na maior parte da sua área ao longo de todo o ano, atingindo os maiores valores do estado, superiores a 26 °C, com exceção da sua porção norte, onde, devido às características geomorfológicas e altitude – a Serra dos Órgãos – a temperatura diminui, tanto quanto nos maciços da Pera Branca e da Tijuca (Bastos; Napoleão, 2011).

Adicionalmente, devido à grande área urbanizada na Baixada Fluminense, onde se inclui o município do Rio de Janeiro, ocorrem “ilhas de calor” responsáveis pela elevação da temperatura, Figuras 23 e 24.

A precipitação pluviométrica média variou de 1.200 a 1.400 mm nas áreas de planície e, nas regiões mais altas das escarpas, graças à umidade proveniente do mar, orografia e gradiente térmico da atmosfera, até mais de 2.500 mm/ano (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014).

Já a análise dos valores médios anuais entre 1961 e 1990, ao considerar a planície costeira, foi mais elevada no Alto da Boa Vista, com 2.235 mm, enquanto as estações com menores valores foram as do Rio de Janeiro, Bangu e Seropédica, com 1.069, 1.228 e 1.274 mm, Figura 25, respectivamente (Salgado; Oliveira; Armond, 2021).

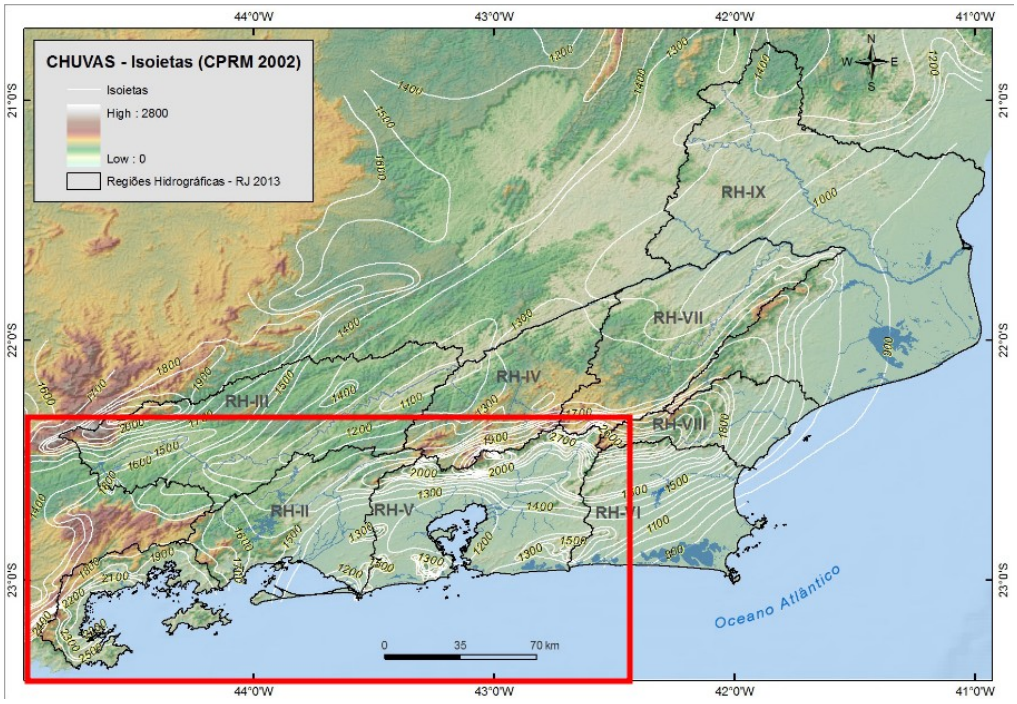


Figura 20. Isoietas das chuvas médias anuais no estado do Rio de Janeiro e, limitadas pelo quadro na cor vermelha, as RHs V, II e I, objeto de interesse. Fonte: CPRM (2002), citado por Fundação COPPETEC/Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014).

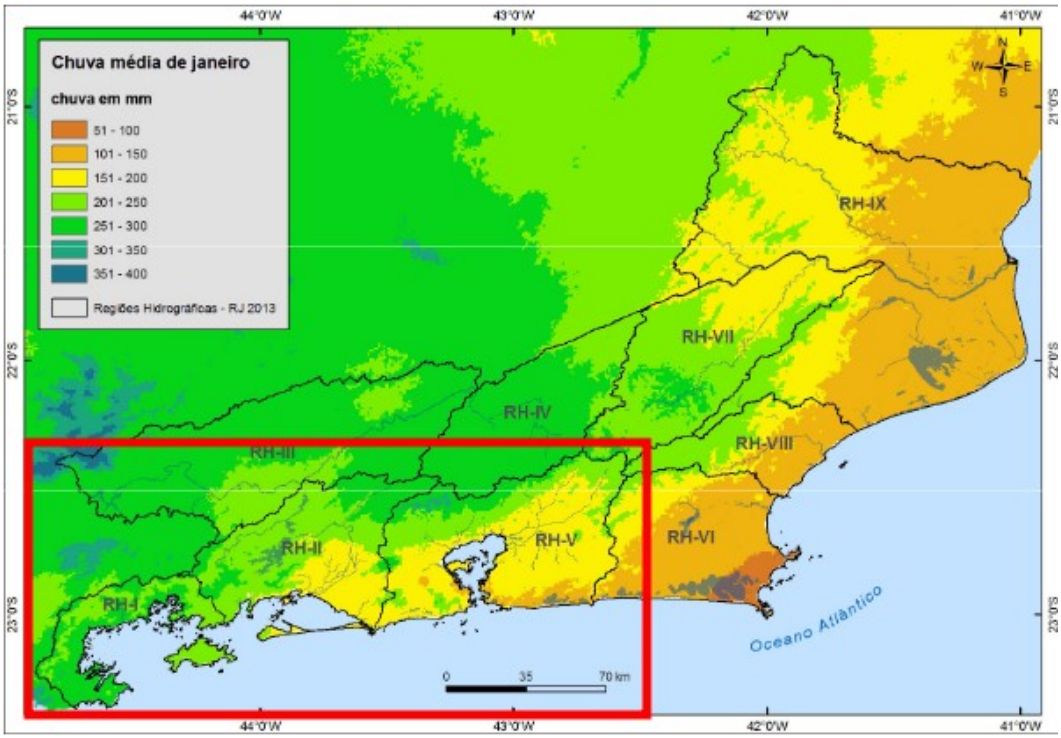


Figura 21. Distribuição das classes de chuva média em janeiro, mês chuvoso, nas regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e, no quadro vermelho, as RHs V, II e I. Fonte: (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014)

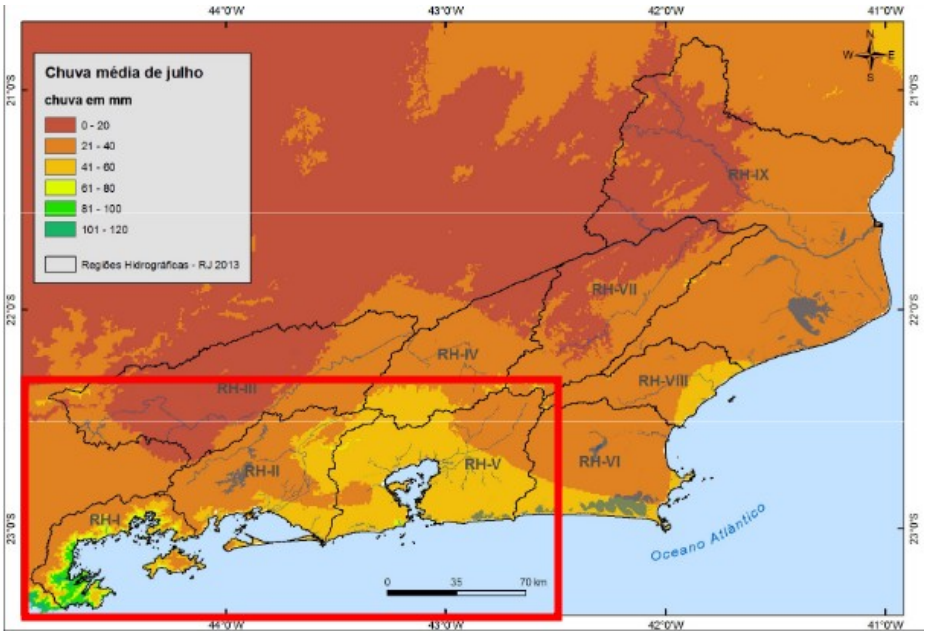


Figura 22. Distribuição das classes de chuva média em agosto, estiagem, nas regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e, no quadro vermelho, as RHs V, II e I. Fonte: (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014).

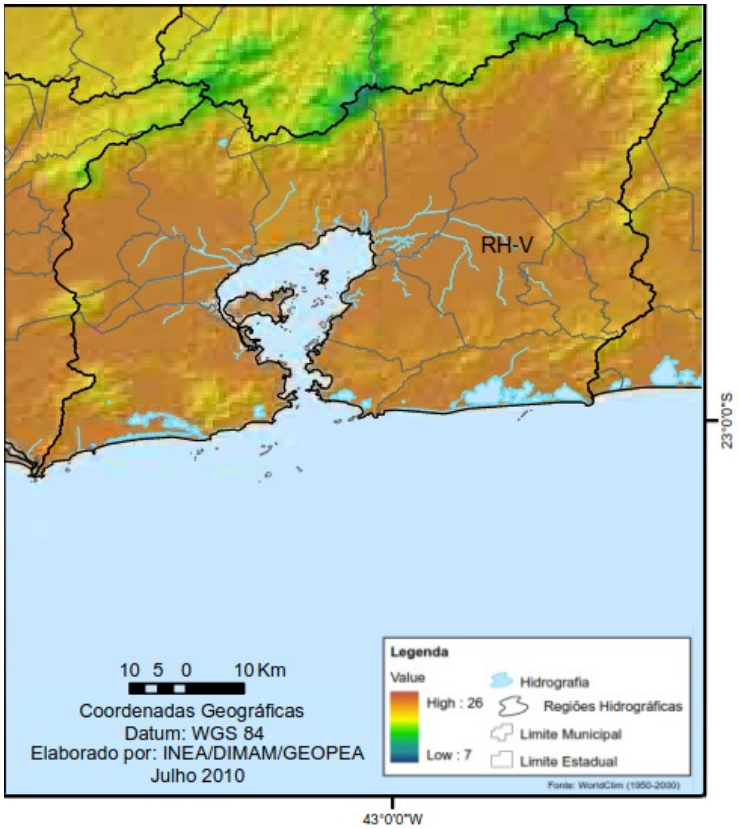


Figura 23. Temperatura média anual na RH V – Baía de Guanabara. Fonte: Bastos; Napoleão, 2011).

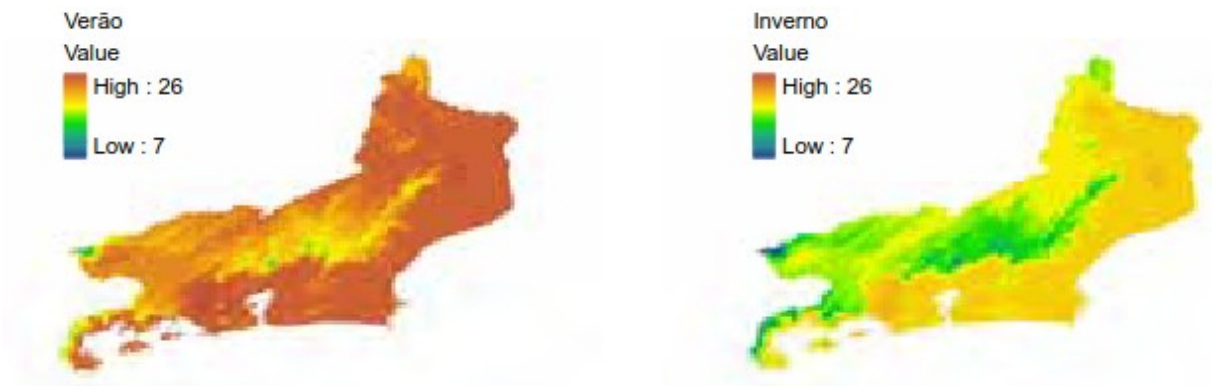


Figura 24. Temperatura média anual no verão, à esquerda, e inverno, à direita, no estado do Rio de Janeiro. Fonte: Bastos e Napoleão (2011).

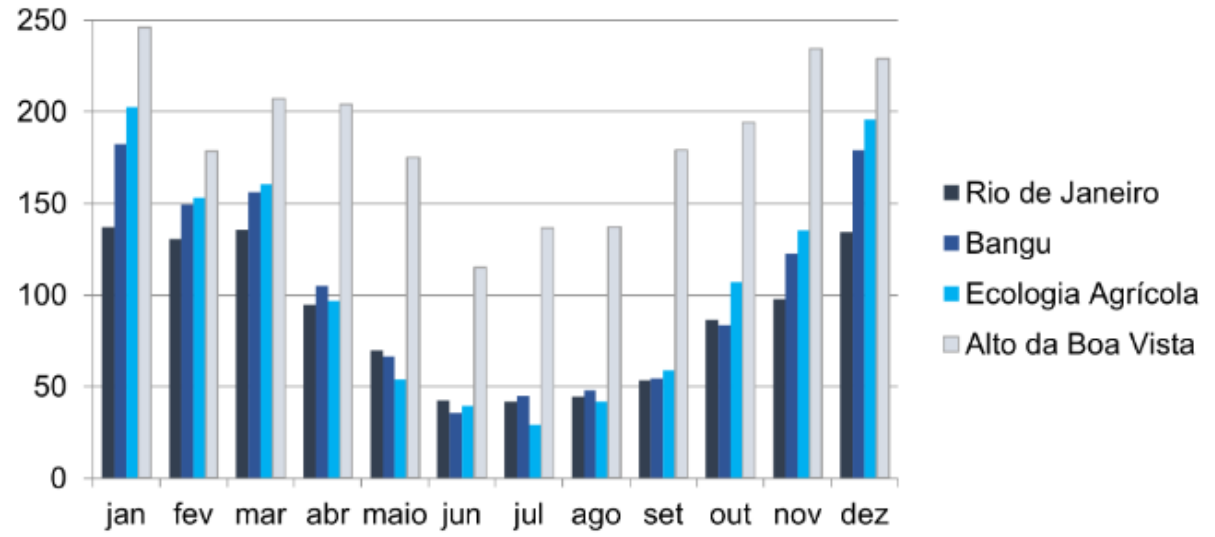


Figura 25. Normal climatológica (1961-1990) de precipitação média mensal de estações presentes no entorno da Baía de Guanabara. Fonte: INMET, elaborado por Carla M. Salgado e citado por Salgado; Oliveira; Armond (2021).

A Região Hidrográfica II - Guandu/Baía de Sepetiba apresentou médias das temperaturas máximas e mínimas das 10 estações meteorológicas de 28,0° e 17,8 °C, respectivamente, de acordo com o Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP, referido por INMET (2017) e citado por PERH Guandu (2017).

Nesse período, o mês mais quente foi fevereiro, com média de 31,5 °C, ao passo que no mais frio, agosto, a média foi de 15 °C.

A temperatura máxima média na região considerada, compreendendo dados de 1912 a 2014, foi de 28,1 °C, enfatizando que, a partir de 1965, as temperaturas médias anuais registradas tendem a superar a média do período anterior, como resultado do maior aquecimento na RH – II, Figura 26.

A temperatura mínima média entre os anos de 1912 e 2014 foi de 17,7 °C, Figura 27, e o comportamento guarda relação com a temperatura máxima média, aumentando a partir de 1965 e mantendo tendência de elevação (PERH Guandu, 2017).

No que respeita à precipitação, a análise do comportamento da chuva a partir dos valores médios anuais de 1912 a 2016 possibilitou estimar a média máxima, média mínima, médias gerais e tendência. Os resultados obtidos apontam diminuição dos valores precipitados, com taxa negativa de 5,73 mm/ano ao considerar a linha de tendência obtida, com destaque, a partir do início da década de 90, em que muitas médias anuais estão abaixo da média aritmética, Figura 28.

O mapa de déficit e excedente hídrico da região demonstra que, ao totalizar os resultados, a taxa de evapotranspiração é maior do que a de precipitação. Como pode ser comprovado ao observar os registros das estações no inverno e verão, quando, respectivamente, não há déficit e excedente hídrico (PERH Guandu, 2017).

Isto é, no verão há incidência de chuvas convectivas pelo aumento da temperatura e alta taxa de precipitação, e, no inverno, a região é seca (PERH Guandu, 2017).

Logo, conclui-se que a distribuição hídrica é baixa e tal resultado é devido, no verão, à alta concentração de chuvas nas áreas da baixada, onde a água precipitada é transportada pelo sistema de drenagem para os corpos receptores.

A Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande enquadra-se, tendo em conta as características climáticas predominantes, como tropical quente e úmido, com precipitação média variando entre 2.000 e 3.000 mm/ano.

As temperaturas máximas médias anuais variam de 35 °C a 40 °C; as mínimas médias anuais, de 10 °C a 15 °C, enquanto as temperaturas médias anuais oscilam entre 20 e 28 °C, Figuras 29 e 30 (INMET, 2018, citado por PRH-BIG, 2019).

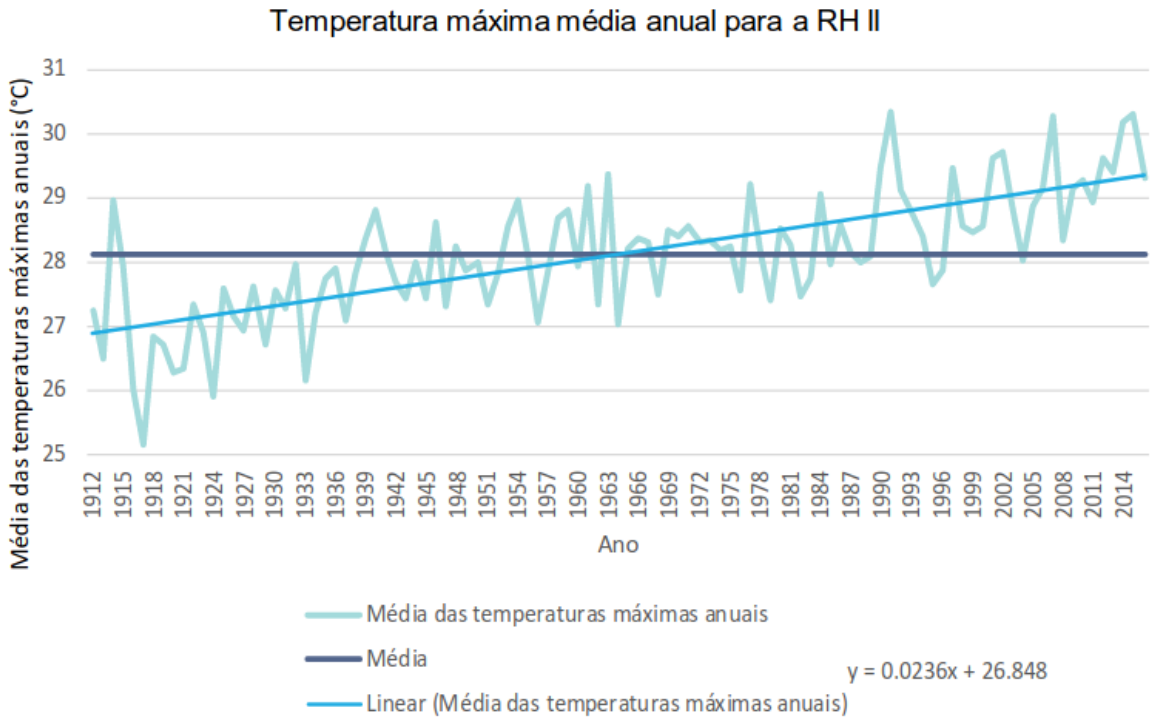


Figura 26. Temperatura máxima média anual, média das temperaturas máximas anuais e linha de tendência para a RH II. Fonte: INMET, citado por PERH Guandu (2017).

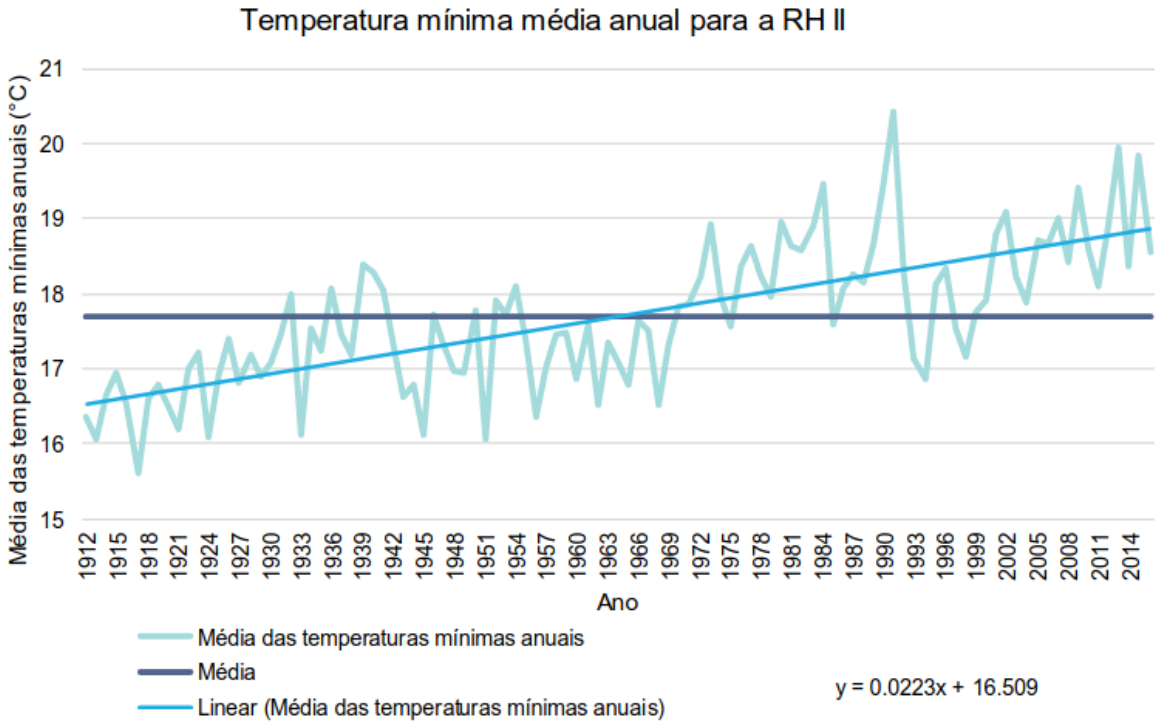


Figura 27. Temperatura mínima média anual, média das temperaturas mínimas anuais e linha de tendência para a RH II. Fonte: INMET, citado por PERH Guandu (2017).

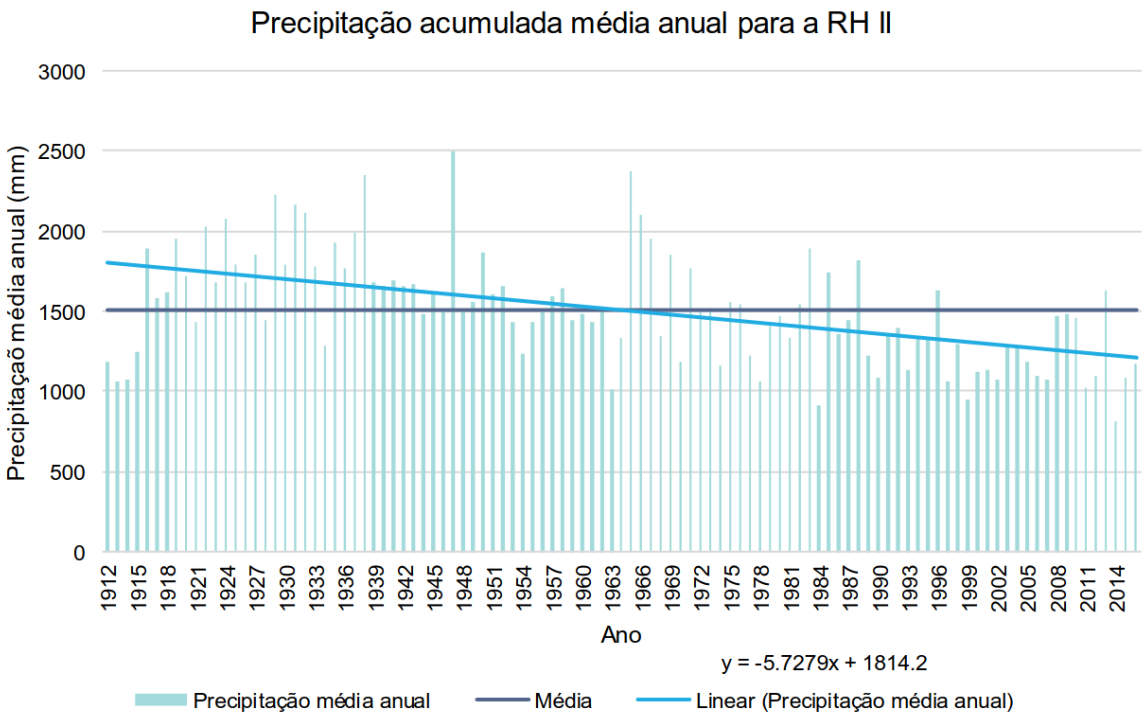


Figura 28. Precipitação acumulada média anual, média dos acumulados anuais e tendência para a RH II. Fonte: INMET, citado por PERH Guandu (2017).

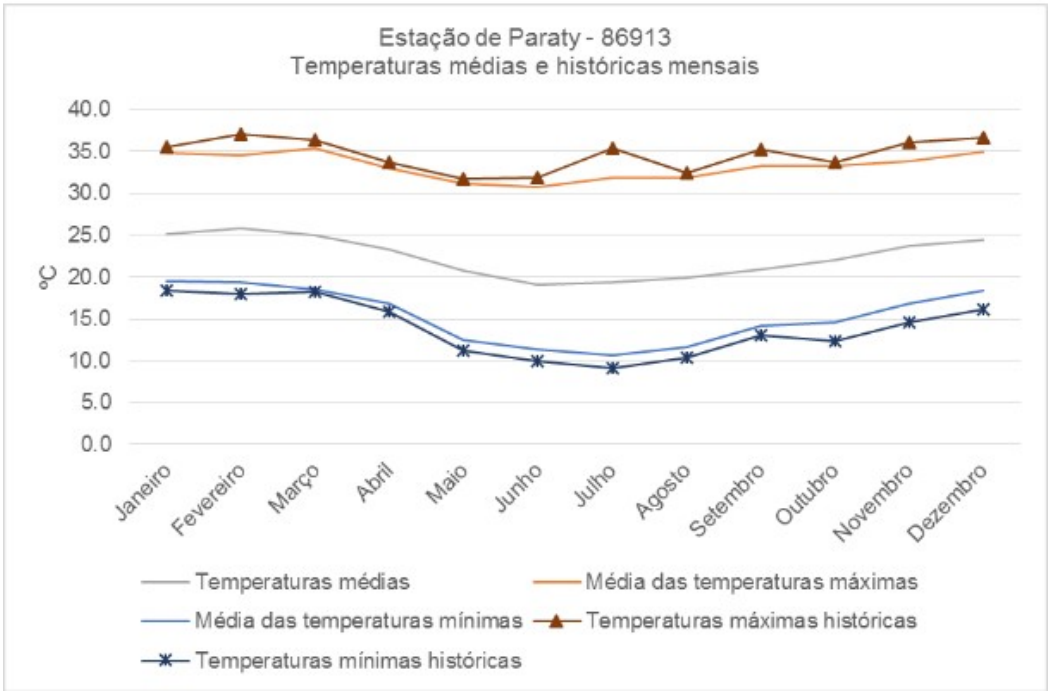


Figura 29. Temperaturas médias históricas mensais em Paraty, na estação meteorológica 86913. Fonte: INMET (2018), citado por PRH-BIG (2019).

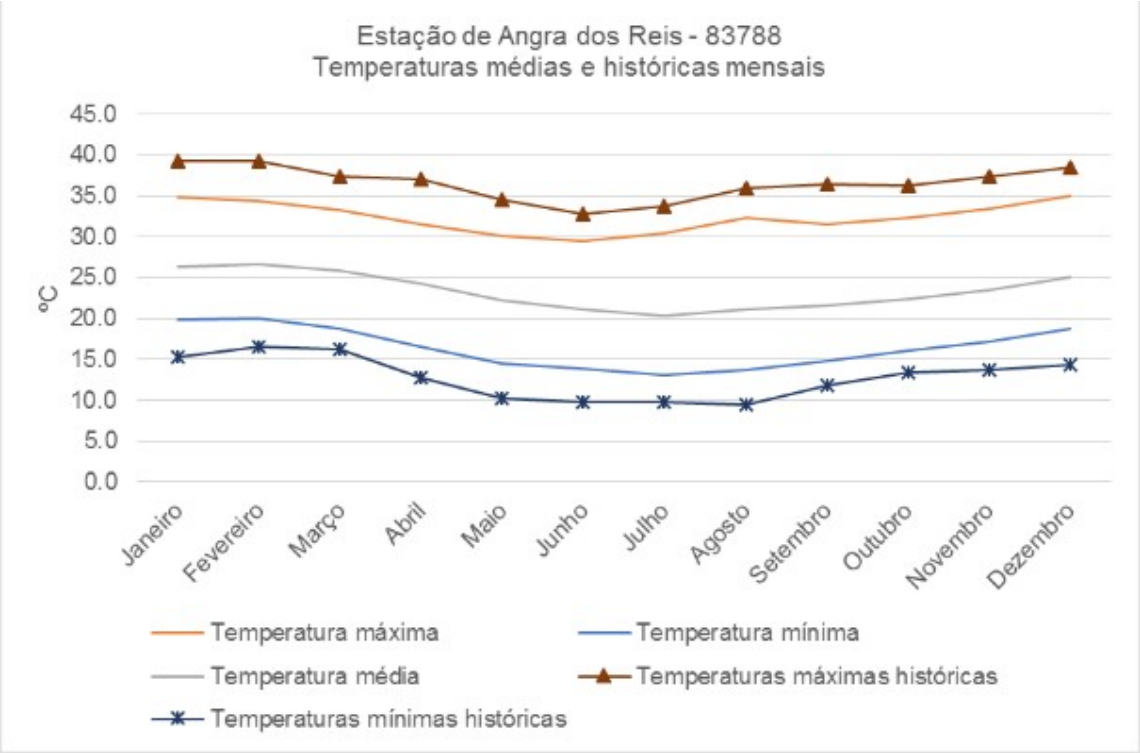


Figura 30. Temperaturas médias históricas mensais em Angra dos Reis, na estação meteorológica 83788. Fonte: INMET (2018), citado por PRH-BIG (2019).

A precipitação na RH I – Baía de Ilha Grande, analisada a partir dos dados históricos abrangendo o período de 1936 a 2017 de 12 estações pluviométricas, Figura 31, é elevada ao longo do ano, mesmo no verão. E não registra déficit hídrico, pois o acúmulo de água é sempre maior do que a perda, principalmente no litoral.

Mesmo no inverno, constata-se excedente hídrico, diferindo do restante do estado, que costuma apresentar período mais seco. Neste caso, o quadrante geográfico, sob influência marinha, e a barreira formada pela Serra do Mar, asseguram a ocorrência de chuvas orográficas e presença constante de umidade (Bastos; Napoleão, 2011).

Quanto à tendência, foi constatada diminuição dos índices de precipitação anual de oeste para leste, bem como das baixas para as altas altitudes, com a variação das médias de cerca de 2.400 mm/ano nas regiões de Paraty e Paraty-Mirim a 1.500 em alguns pontos do alto da serra, próximo ao limite com o estado de São Paulo, Figura 32, como informa PRH-BIG (2019).

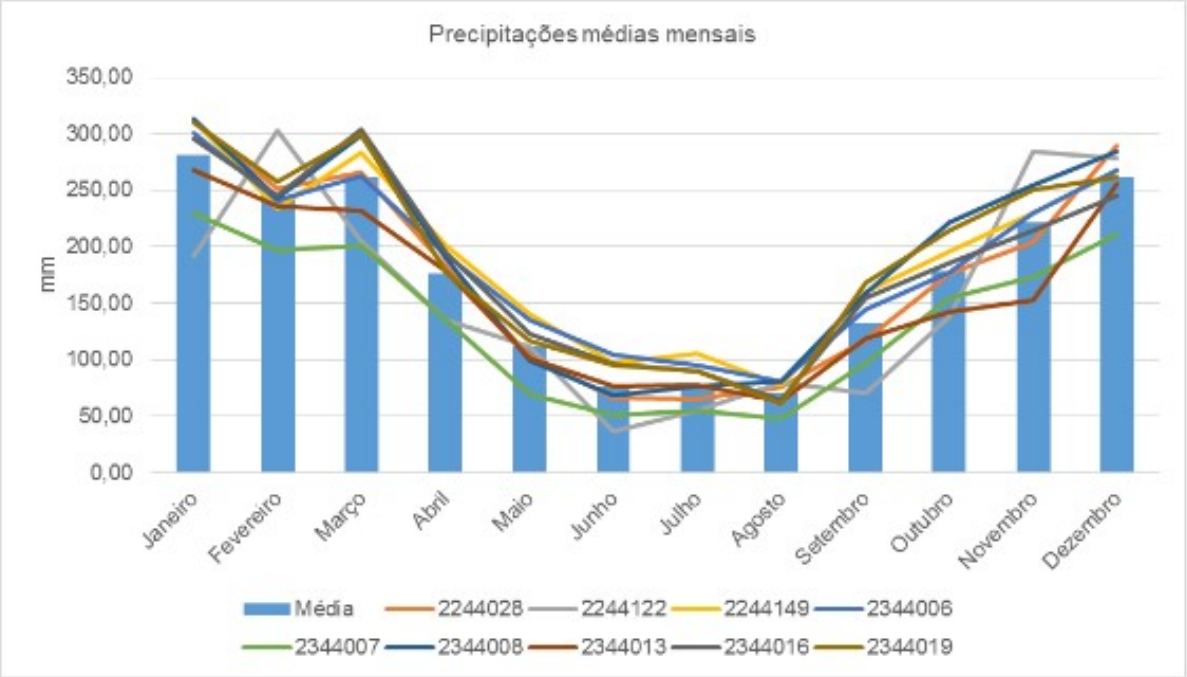


Figura 31. Precipitações médias mensais em estações pluviométricas na RH I – BIG. Fonte: ANA (2018), citada por PRH-BIG (2019).

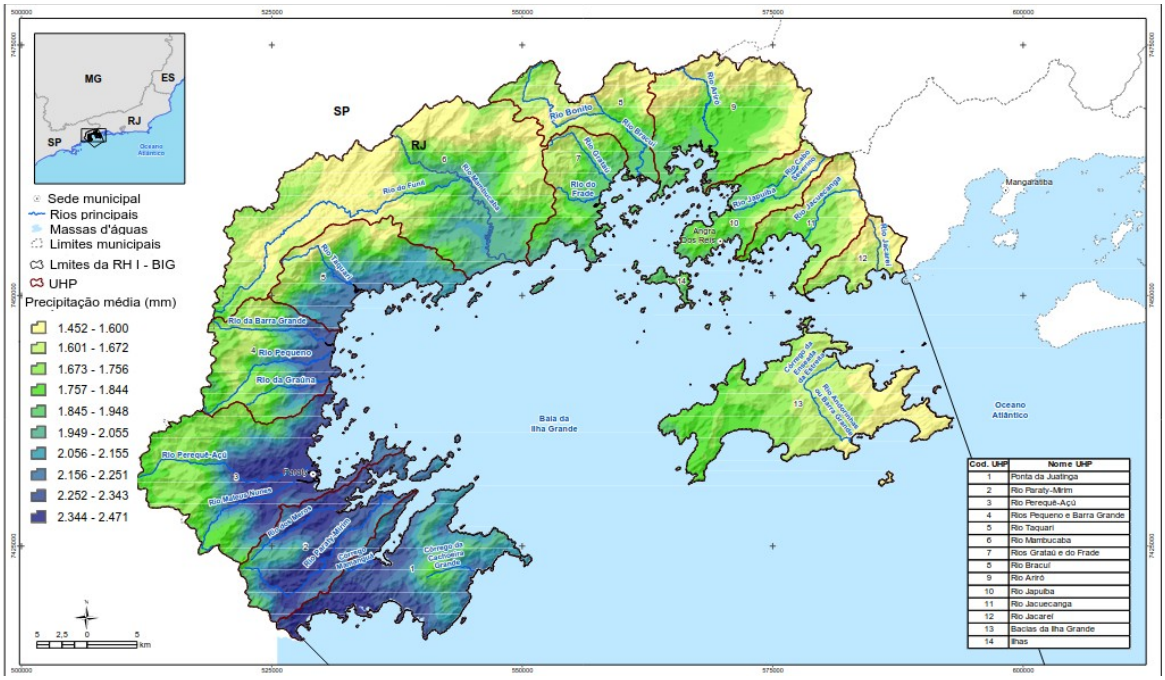


Figura 32. Precipitação média anual na RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: adaptado de PRH-BIG (2019).

4.2.1.4. Comportamento hídrico

O comportamento hídrico das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande difere substancialmente, a despeito da proximidade geográfica das três áreas.

A RH V – Baía de Guanabara apresenta excedente hídrico no verão devido, também, à presença de fortes chuvas convectivas, particularmente nos seus maciços e divisores de águas. No inverno, a situação se inverte e ocorre déficit hídrico principalmente na Zona Norte do município do Rio de Janeiro, graças às áreas planas, enquanto que nas áreas elevadas, situadas entre o mar e maciços, ocorrem chuvas convectivas mais frequentes em decorrência da orografia (Bastos; Napoleão, 2011).

Na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba, a taxa de evapotranspiração é maior do que a precipitação, como demonstra a diferença entre o excedente e déficit hídrico ao longo do ano. No verão, quando há maior incidência de chuvas convectivas devido ao aumento da temperatura, ocorre excedente hídrico, principalmente na região de baixada com escassas áreas florestadas e intensa ocupação urbana em grandes áreas impermeabilizadas responsáveis por transferir a água precipitada para o sistema de drenagem. No inverno, a situação se inverte e a região torna-se seca (Bastos; Napoleão, 2011).

Na RH I – Baía de Ilha Grande, a precipitação ocorre ao longo do ano e não ocorre déficit hídrico, mesmo no inverno, uma vez que o acúmulo de água é sempre maior que a perda, principalmente no litoral, graças, principalmente, à localização geográfica e à presença da barreira representada pela Serra do Mar e Serra da Bocaina nas proximidades da costa, promovendo intensas chuvas orográficas (Bastos; Napoleão, 2011).

4.2.1.5. Solos

O solo faz parte da camada superficial da litosfera, que se distingue por abrigar vida microbiana. Apresenta espessuras variáveis graças à ação de agentes intempéricos físicos, químicos e biológicos sobre a rocha mãe que aflora na superfície. Está na interface das várias esferas terrestres – geosfera, hidrosfera,

atmosfera e biosfera – com as quais continuamente interage, em infindo processo de troca e influências mútuas. Como resultado, é importante elemento a refletir as condições dos ambientes terrestres (Carvalho Filho; José Francisco Lumbreras; Santos, 2000).

Exerce influência em diversos aspectos diretamente relacionados à vida na Terra mediante o fornecimento de nutrientes e base de sustentação para plantas e, consequentemente, animais, além de constituir reserva de água, fonte de sedimento e, mais recentemente, contaminantes e poluentes antropogênicos.

As características do solo, portanto, são fundamentais para avaliar a potencialidade e restrições de uso em qualquer região. Bem como para compreensão das inter-relações entre os diversos compartimentos do meio (Carvalho Filho; José Francisco Lumbreras; Santos, 2000).

Os diferentes tipos de solos decorrem da grande variedade das rochas, das diversas formas de relevo e das diferentes condições climáticas e meteorológicas presentes na região. Devido a essas características, o solo pode refletir, com precisão, as características e qualidades dos ecossistemas terrestres (Carvalho Filho; José Francisco Lumbreras; Santos, 2000).

A obra “Os solos do estado do Rio de Janeiro” resume os resultados de levantamento pedológico ao nível de reconhecimento de baixa intensidade realizado pela Embrapa Solos, classificando e caracterizando as classes dominantes de solos nos ambientes mais expressivos do território fluminense (Carvalho Filho; José Francisco Lumbreras; Santos, 2000).

Os principais tipos de solos identificados na área de estudo, regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, são apresentados na Figura 33 e Quadro 19.

No levantamento acima, e tal qual nos mapas geológicos e geomorfológicos do estado do Rio de Janeiro, não há alusão à presença de metais pesados de origem autogênica nos diferentes tipos de terrenos identificados e usos classificados.

Constatação que aponta para a necessidade de obtenção dessas informações.

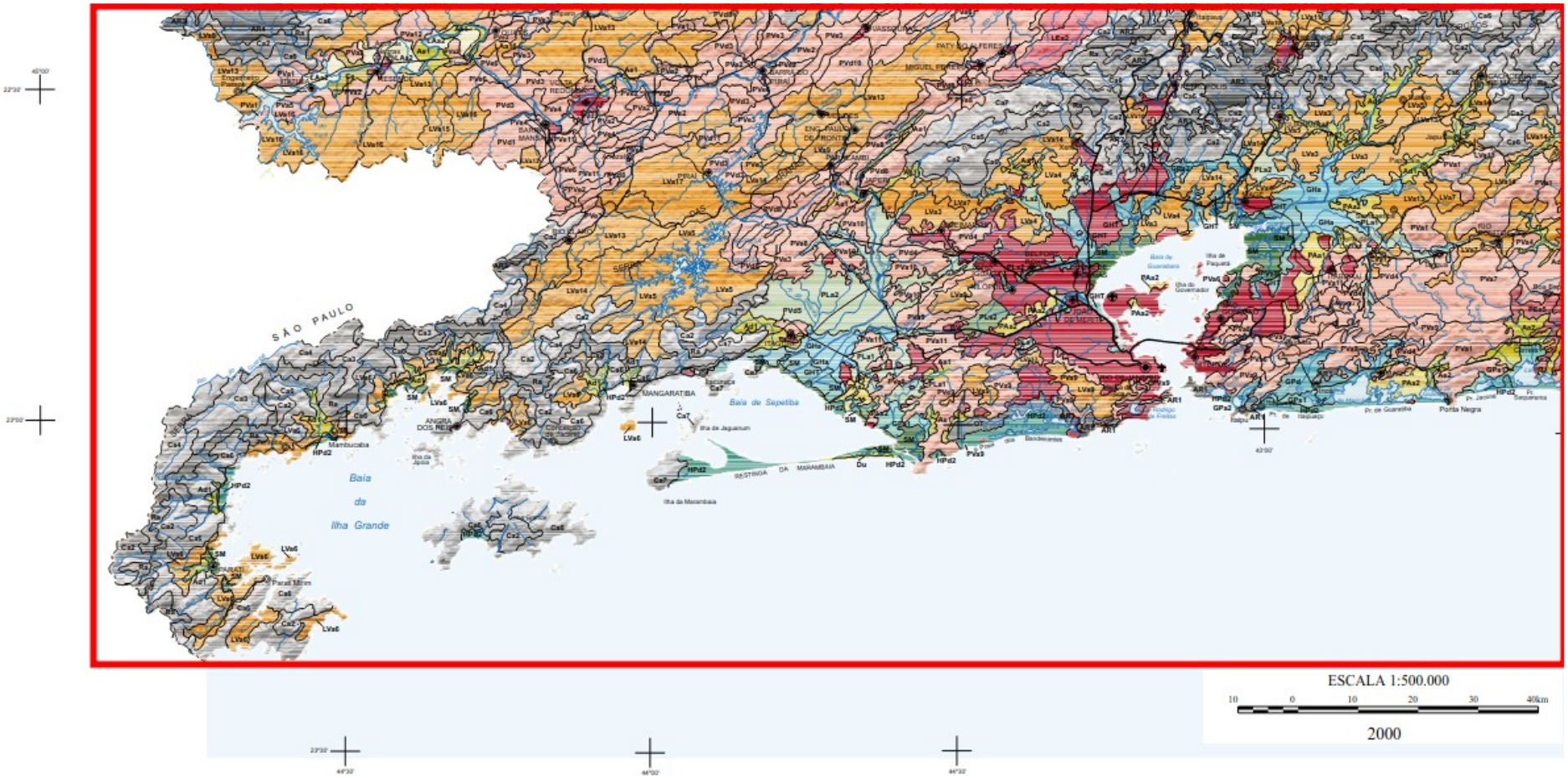


Figura 33. Tipos de solo nas regiões hidrográficas V - Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, circunscritas pelo retângulo na cor vermelha. Fonte: adaptado de Carvalho Filho; José Francisco Lumbreras; Santos (2000).

Quadro 19. Legenda do Mapa de Solos do Estado do Rio de Janeiro. Fonte: adaptado de Carvalho Filho; José Francisco Lumbreras; Santos (2000).

Símbolo	Tipo de solo	Metais pesados	Símbolo	Tipo de solo	Metais pesados
Latossolos			**Gleissolos**		
LVa1-17	Latossolo Vermelho-Amarelo álico		GHa	Glei Húmico álico	
Podzólicos			GPa1-2	Glei Pouco Húmico álico	
PAa1-4	Podzólico Amarelo álico		GPd	Glei Pouco Húmico distrófico	
PVa1-11	Podzólico Vermelho-Amarelo álico		GPs1-2	Glei Pouco Húmico salino solódico	
PVd1-14	Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico		GHT	Glei Húmico tiomórfico	
PVe1-12	Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico		**Solos Litólicos**		
Podzóis			Ra	Solos Litólicos álicos	
HPd1-2	Podzol Hidromórfico distrófico		**Solos Aluviais**		
Planossolos			Ad1-2	Solos Aluviais distróficos	
PLa1-2	Planossolo álico		Ae1-2	Solos Aluviais eutróficos	
PLs1-2	Planossolo solódico		**Tipos de Terreno**		
Cambissolos			AR1-4	Afloramentos de rocha	
Ca1-8	Cambissolo Álico		Du	Duna	
Solos Orgânicos			At	Área de inervenção antrópica (urbana, aterro, terralenagem, mineração, etc)	
Od	Solos Orgânicos distróficos				
Solos Indiscriminados de Mangue				Corpos d'águas	
SM	Solos indiscriminados de mangue				

4.2.1.6. Região costeira e oceânica adjacente

4.2.1.6.1. Oceanografia regional

O setor litorâneo, abarcando as RHs V, II e I, apresenta, em linha reta e desconsiderando as reentrâncias da costa, aproximadamente 170 quilômetros lineares. Abarca as três baías fluminenses, onde podem ser encontradas 150 ilhas na Baía de Guanabara, 98 na Baía de Sepetiba e 241 na Baía de Ilha Grande (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014).

O litoral oeste e as três baías do Rio de Janeiro, objeto de estudo, situam-se na Plataforma Continental Sudeste do Brasil.

A estrutura oceanográfica, por ser dinâmica e não fixa, é complexa e decorrente dos processos de interação ar-mar, além de variações diurnas, sazonais e anuais (Matsuura, 1977, citado por Matsuura, 1986).

As massas d'água presentes na região, com características termohalinas da

mistura, Figuras 34 e 35, são representadas por:

- **Água Tropical (AT):** massa de água quente com baixos teores de nutrientes e alta salinidade (T>20 °C e S>36,40), transportada no sentido sul-sudoeste na camada superficial (0-200 m) da corrente do Brasil, sobre o talude continental, nas proximidades da quebra da plataforma continental (Cerda; Castro, 2014; Miranda, 1985)**;**
- **Água Central do Atlântico Sul (ACAS):** massa de água relativamente fria e rica em nutrientes (T<20 °C e S<36,40), transportada no sentido sul-sudeste ao longo do talude continental, na camada inferior à Corrente do Brasil (200-500 m), próxima à quebra da plataforma continental e apresentando maior concentração de nitratos, fosfatos e silicatos dissolvidos, importante fonte de nutrientes para os ecossistemas costeiros da Plataforma Continental (Cerda; Castro, 2014; Miranda, 1985);
- **Água costeira (AC):** massa de água resultante da mistura da descarga continental de água doce com as águas da plataforma continental, com salinidades mais baixas que as outras massas d'água – ACAS e AT - que ocorrem na plataforma continental sudeste do Brasil (S<34) devido, principalmente, ao efeito combinado dos diversos rios que deságuam na costa, com temperaturas superiores a 15 °C e teores relativamente altos de silicato, nitrato e fosfato (Cerda; Castro, 2014; Miranda, 1985).

Na camada superior da plataforma continental, a Água da Plataforma é originada a partir da mistura de água subtropical oriunda de profundidades de 200 a 300 metros do talude continental, com duas outras massas de água: Tropical e Costeira (Matsuura, 1975).

Aspecto importante a ser ressaltado é a ocorrência de ressurgência da massa d'água Água Central do Atlântico Sul – ACAS no segmento litorâneo situado entre Cabo Frio e Ilha Grande, em decorrência de diversos fatores, dentre os quais se incluem ventos predominantes da direção ENE, oscilação do eixo da Corrente do

Brasil, força da corrente costeira e topografia de fundo (Mascarenhas et al., 1971; Almeida e Azevedo, 1970; Ikeda et al., 1974; e Maglioca et al., 1979; citados por Matsuura 1986).

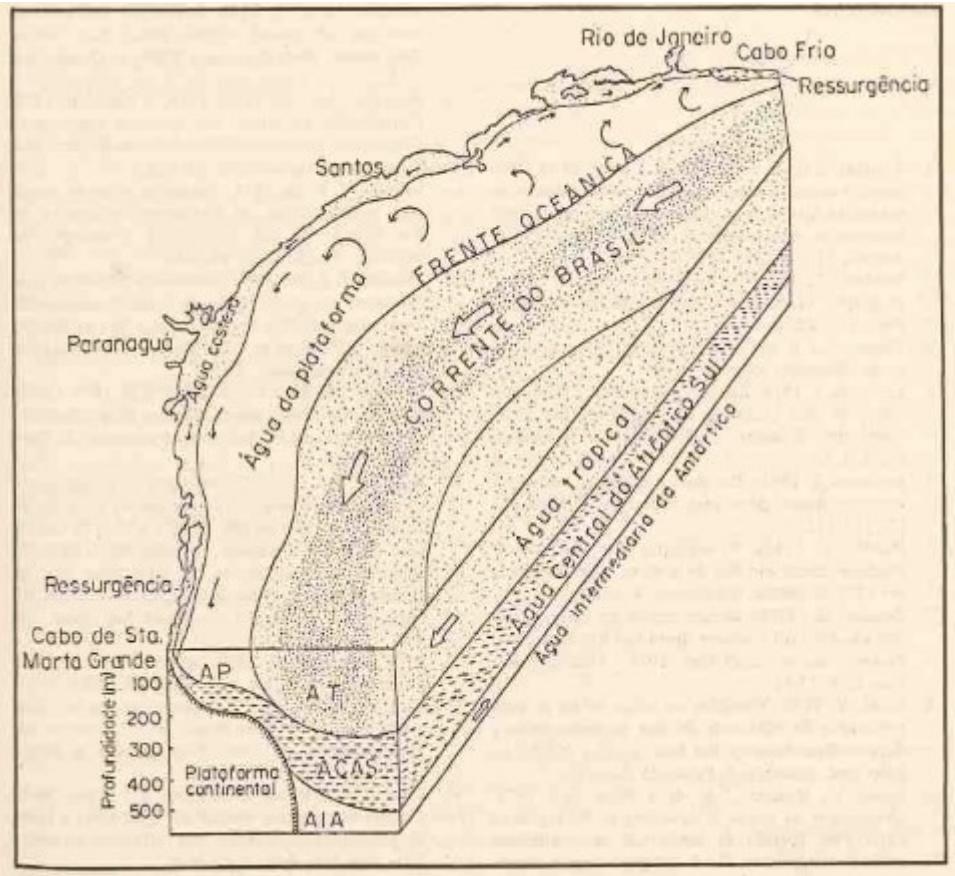


Figura 34. Diagrama da estrutura oceanográfica da região Sudeste-Sul na época de verão, elaborado por meio das informações anteriores e dados obtidos por Matsuura (1986).

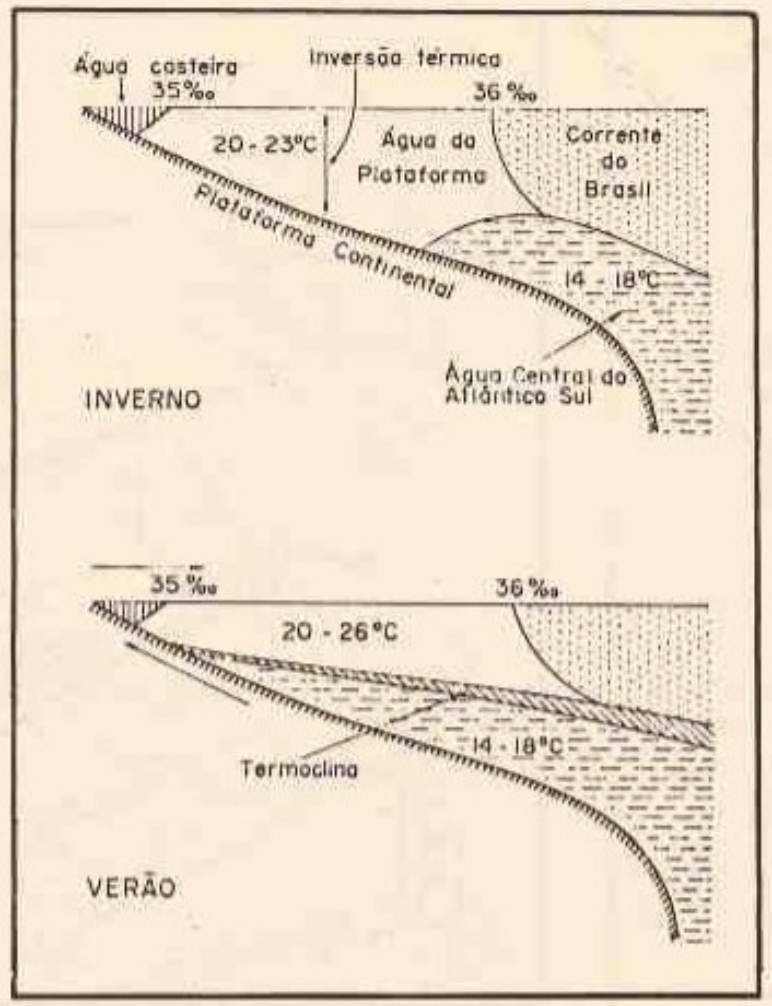


Figura 35. Diagrama esquemático da distribuição vertical das massas d'água no inverno e verão na região Sudeste-Sul. Fonte: Matsuura (1986).

4.2.1.6.2. Variação do nível relativo do mar

A evolução das planícies e ecossistemas costeiros brasileiros e, particularmente no setor litorâneo objeto deste estudo, tem seu processo de desenvolvimento diretamente relacionado às variações do nível relativo do mar ao

longo do Período Quaternário (Martin; Suguio; Flexor, 1993).

Depósitos arenosos marinhos, indicadores biológicos e pré-históricos situados acima do nível do mar atual, assim demonstram em razão da deposição quando o nível do mar estava mais elevado.

Na Baía de Ilha Grande, a reconstituição do comportamento do nível do mar foi elaborada por meio de reconstruções que, ainda que não possibilitassem delinear toda curva, puderam definir, com precisão, alguns eventos ocorridos, Figura 36, de acordo com Martin; Suguio; Flexor (1993).

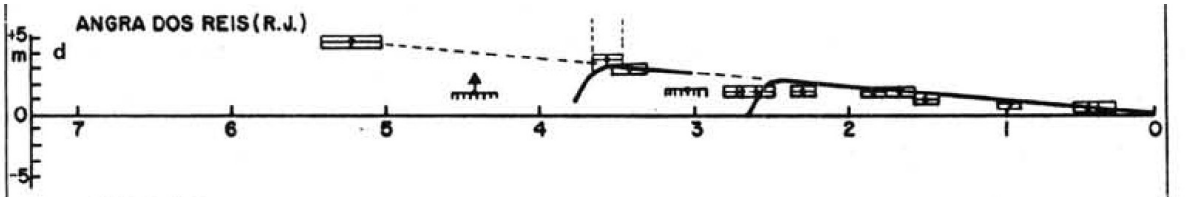


Figura 36. Curva de flutuações do nível relativo do mar de 7.000 anos AP, construída por meio de diversos indicadores geológicos, biológicos e pré-históricos, para a região da Baía de Ilha Grande. Fonte: Martin; Suguio; Flexor (1993).

Com destaque para o trecho da curva entre a época atual, 0, e 2.500 anos AP, muito bem definido, incluindo dois picos positivos, um com pouco mais de 3 m acima do nível atual entre 3.450 e 3.600 anos AP, e outro com cerca de 4,8 m, há aproximadamente 5.200 anos AP, que puderam ser identificados (Martin; Suguio; Flexor, 1993).

A Baía de Guanabara, tendo em conta a sequência estratigráfica e as curvas de variação do nível relativo do mar, iniciou sua formação entre 10.000 e 8.000 anos AP. Posteriormente, em 5.100 anos AP, ocasião do maior nível relativo do mar atingido no Holoceno, foram formados depósitos marinhos situados a 30 km da margem atual da baía no evento conhecido localmente como transgressão Guanabarina (Baptista Neto et al., 2021).

Após esse máximo holocênico, ocorreu a primeira regressão, atingindo -1,0 m abaixo do nível atual, nova transgressão entre 3.800 e 3.600 anos AP, subindo de 1,5 a 2,0 acima do nível atual, seguida pela segunda regressão marinha, abaixando o nível relativo do mar até o observado atualmente (Suguio et al., 1985; Amador e

Ponzi, 1974; citados por Baptista Neto et al., 2021).

Na Baía de Ilha Grande, o máximo transgressivo de 2.500 anos AP pode ser considerado determinante para a configuração do padrão hidrodinâmico costeiro atual, visto corresponder à fase de estabilização do nível relativo do mar em cotas próximas (Martin et al., 1984, citados por Mahiques, 1987).

A partir desse momento, e com a estabilização do padrão de circulação equivalente ao atual, concluiu-se que o aporte de sedimento moderno, carreado pelos cursos d'água, restringiu-se às áreas muito próximas à costa (Mahiques, 1987).

A configuração atual da linha de costa, com os ecossistemas costeiros que a caracterizavam até algumas décadas, é resultado da variação relativa do nível do mar atuando conjuntamente com diversos outros eventos ocorridos nas regiões emersas e áreas oceânicas adjacentes.

4.2.1.7. Ecossistemas costeiros

A identificação, caracterização e reconhecimento da importância dos ecossistemas e habitats costeiros nas três baías estudadas estão afeitas, principalmente, à iniciativa intitulada “Áreas Prioritárias para Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da biodiversidade brasileira”, Figura 37 (MMA, 2007).

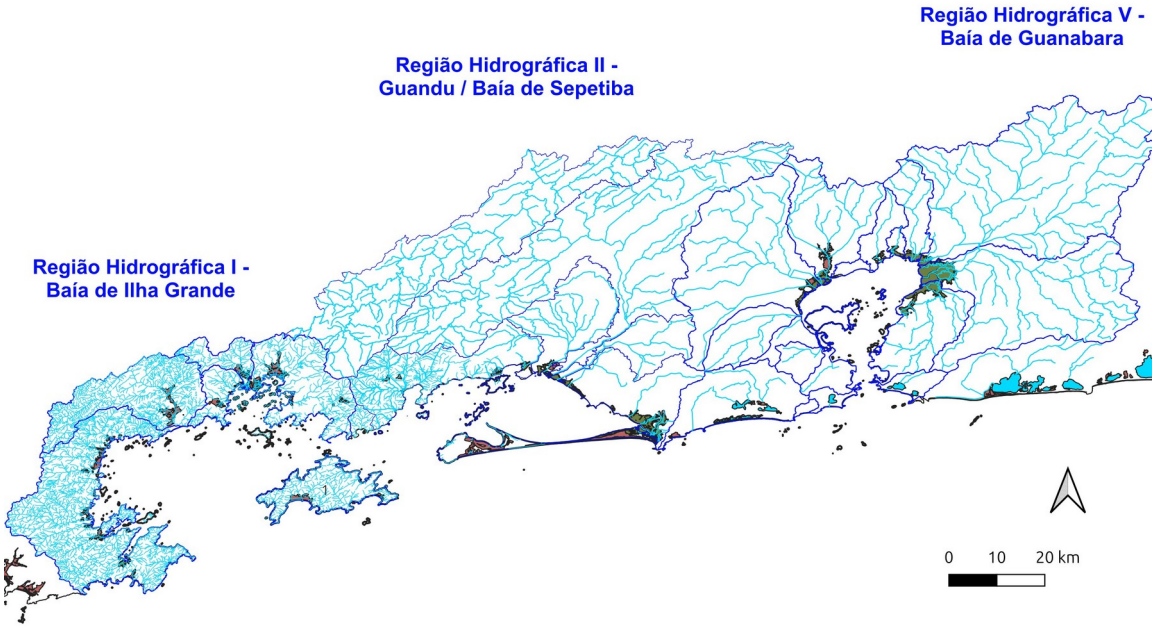


Figura 37. Alvos para a conservação da biodiversidade na zona costeira na área de estudo. Fonte: (MMA, 2007).

A ação desencadeada pelo executivo federal pode ser caracterizada como instrumento de política pública direcionado ao desenvolvimento de ações de pesquisa para constituir inventário da biodiversidade. Bem como aglutinador de informações para subsidiar ações voltadas à recuperação de áreas degradadas e de espécies sobreexplotadas ou ameaçadas de extinção, licenciamento ambiental e fiscalização, identificação de áreas com potencial para criação de unidades de conservação e corredores ecológicos, além de ações de fomento ao uso sustentável e iniciativas para regularização ambiental em grande escala, abarcando o território nacional (Bayma; Paixão; Pompeu, 2023).

Teve por objetivos subsidiar o planejamento e elaboração de planos, programas, projetos e ações voltadas à conservação da biodiversidade (Bayma; Paixão; Pompeu, 2023).

Abrangentes, fundamentadas e ilustradas referências a respeito dessa

iniciativa podem ser obtidas no sítio do Ministério do Meio Ambiente e Mudanças do Clima – MMA e estão afeitas, principalmente, mas não somente, aos Diagnósticos elaborados em 2002 (MMA, 2002) e 2007 (MMA, 2007), Panorama da Conservação dos Ecossistemas Marinhos e Costeiros no Brasil (Prates; Gonçalves; Rosa, 2012) e Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade, 2ª atualização (Bayma; Paixão; Pompeu, 2023)

As baías de Ilha Grande e Sepetiba, de acordo com o primeiro levantamento realizado, caracterizavam-se como regiões medianamente estudadas. Enquanto a Baía de Guanabara se distinguia como bem estudada (MMA, 2001).

A diversidade biológica e riqueza filatélica foi caracterizada como alta nas baías de Ilha Grande e Sepetiba, e média na Baía de Guanabara (MMA, 2001).

Com relação ao endemismo de espécies e táxons superiores, riqueza de espécies raras e ameaçadas, não foram identificadas informações para subsidiar diagnóstico nas três baías (MMA, 2001).

Quanto ao detalhamento das principais características distintivas desses ambientes, são apresentadas no Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo na Bacia Marítima de Santos, tendo em conta a vulnerabilidade que apresentam frente a eventuais derrames de óleo (Gherardi; Cabral, 2007).

O Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) foi estabelecido a partir do grau de exposição à energia das ondas e marés, declividade do litoral e tipo de substrato, em abordagem inicial. Para, em seguida, considerar as inter-relações entre os processos físicos, tipos de substratos e biota associada, além dos padrões previsíveis de comportamento do óleo decorrente de eventuais vazamentos, os mecanismos de transporte de sedimento e impactos à biocenose (Gherardi, 2007).

As principais feições costeiras, ou habitats, presentes no litoral do estado do Rio de Janeiro, identificadas e agrupadas no Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo na Bacia Marítima de Santos, são apresentadas na Figura 38 e listadas no Quadro 20.

Com relação à fauna autóctone presente nos diferentes ambientes das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande, são inerentes à zonação típica de praias

arenosas e costões rochosos com os respectivos supralitoral, mesolitoral superior, mesolitoral inferior e infralitoral superior; à parcela dos manguezais outrora existentes, marismas, bem como planícies de marés; além de diferentes tipos de substratos arenosos, lamosos e rochosos, tanto expostos como abrigados da ação das ondas e correntes (Gherardi, 2007).

Os corpos d'água da região apresentam elevadas concentrações de clorofila, da ordem de 5 mg/m^3, podendo atingir, em locais eutrofizados, até 10.10^6 células/L, com a predominância de cianofíceas e diatomáceas (Gaeta e Brandini, 2006, citados por Gherardi, 2007).

O zooplâncton, constituído por copépodos, medusas, apendiculários, misidáceos, quetognatos, cladóceros, ostracodes, decápodos e eufasiáceos, além de ovos e larvas de diversas espécies de teleósteos a constituir o ictioplancton, costuma apresentar concentrações mais elevadas na região costeira e embaiamentos da Bacia Sedimentar de Santos (Gherardi, 2007).

Destacando-se que Informações específicas e detalhadas, abarcando temas complementares ao descrito para a oceanografia da região na presente seção, poderão ser obtidas nos documentos citados.

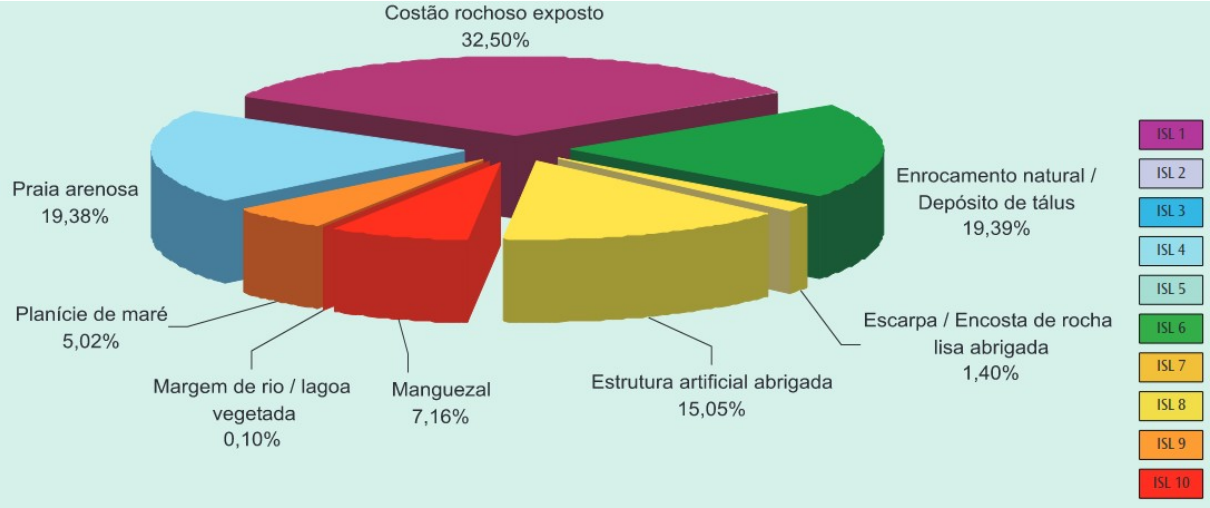


Figura 38. Frequência de ocorrência de feições costeiras no estado do Rio de Janeiro. Fonte: Gherardi (2007).

Observação: ISL – Índice de Sensibilidade do Litoral. Quanto maior o numeral, tanto mais sensível ao derrame de óleo o ambiente considerado.

Quadro 20. Índices de Sensibilidade do Litoral – ISL e principais características dos 10 tipos de feições costeiras identificadas. Fonte: adaptado de Gherardi (2007).

Legenda	Índice de Sensibilidade do Litoral – ISL	Tipos de Costa
	1	Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos; Falésias em rochas sedimentares, expostas; Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas.
	2	Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos; Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.).
	3	Praias dissipativas de areia média a fina, expostas; Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo “long beach”); Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo barreiras e tabuleiros Litorâneos), expostos; Campos de dunas expostas.
	4	Praias de areia grossa; Praias intermediárias de areia fina a média, expostas; Praias de areia fina a média, abrigada
	5	Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais; Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação; Recifes areníticos em franja.
	6	Praias de cascalho (seixos e calhaus); Costa de detritos calcários – depósito de tálus; Enrocamentos (“rip-rap”, guia corrente, quebra-mar) expostos; Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
	7	Planície de maré arenosa exposta; Terraço de baixa-mar.
	8	escarpa / encosta de rocha lisa, abrigada; Escarpa / encosta de rocha não lisa, abrigada; Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados; Enrocamentos (“rip-rap” e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados.
	9	Planície de maré arenosa / lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas; Terraço de baixa-mar lamoso abrigado; Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais.
	10	Deltas e barras de rio vegetadas; Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas; Brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado, apicum; Marismas.

Após a descrição sintética das principais características físicas naturais das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, parte-se para o detalhamento das principais peculiaridades físicas, hidrológicas, hidrodinâmicas e sedimentológicas de cada região hidrográfica considerada.

4.2.2. Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara

4.2.2.1. Principais características da Baía de Guanabara e bacia de drenagem

A Baía de Guanabara está localizada no Estado do Rio de Janeiro, entre as coordenadas 22° 57' e 22° 40' sul e 43° 17’ e 42° 58’ oeste, na Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara, Figura 39.

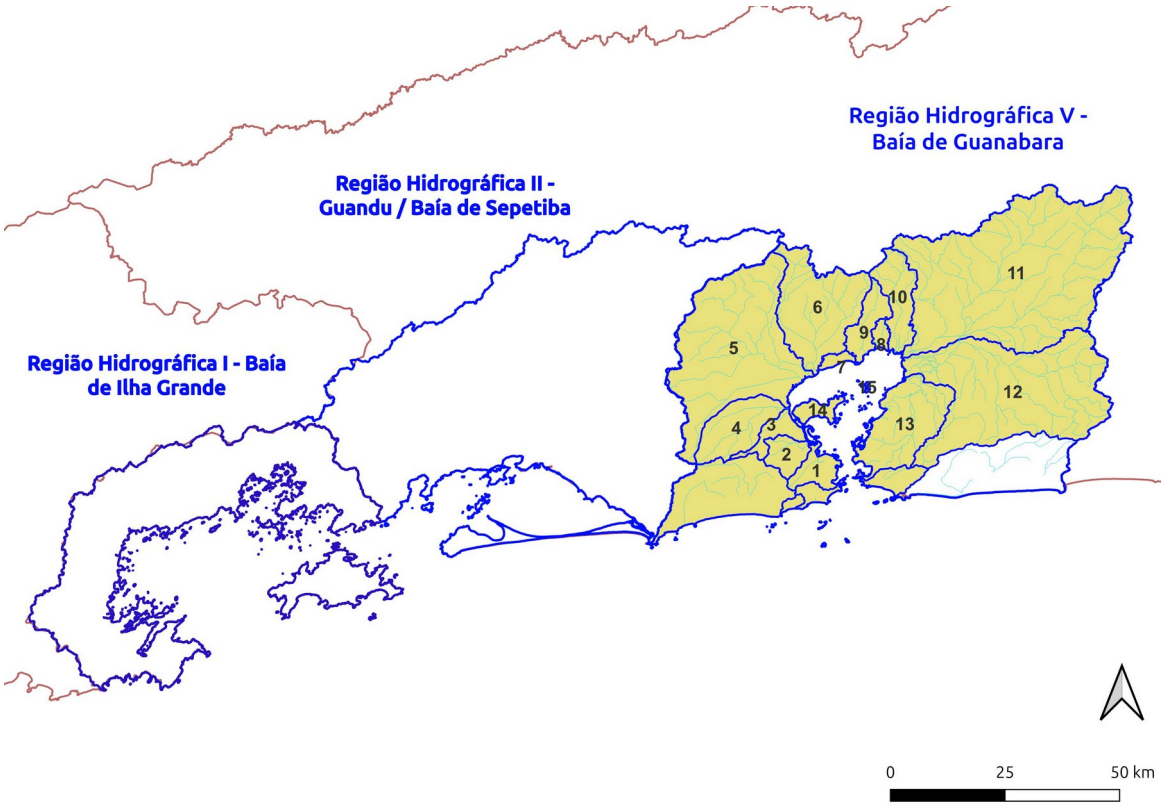


Figura 39. Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara, bacias hidrográficas e coleções hídricas assinaladas na cor azul. Fonte: (AGEVAP, 2020).

A Baía de Guanabara tem cerca de 30 km no sentido norte-sul e 28 km no leste-oeste em seus pontos de maior extensão. A entrada, ou barra, apresenta boca com 1,6 km entre o Forte São João, na margem ocidental, e a Fortaleza de Santa Cruz, na porção leste, Figura 40.

O litoral da baía está inscrito em perímetro aproximado de 131 km de extensão, onde estão presentes entre 53 e 57 praias, tanto expostas como abrigadas, costões rochosos e numerosas ilhas que podem variar em número entre 25 e 150, na dependência dos critérios adotados pelos autores, Figura 41. Seu espelho d'água cobre cerca de 381 km^2, comportando volume de água estimado em $3{,}0x10^9$ m^3 (Bérgamo, 2006; Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015; KCL, 2016; Silva et al., 2016; Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014; Silva et al., 2016).



Figura 40. Vista da Baía de Guanabara e região de entorno.

Com relação às características físicas, a Baía de Guanabara apresenta topografia diversa, incluindo zonas montanhosas, áreas planas de baixadas e de restingas, mangues e praias. Limita-se, ao norte, com a Serra do Mar, denominada como Serra dos Órgãos, paralela à linha de costa, constituindo paredão abrupto e contínuo, onde as altitudes oscilam entre 800 e 1.800 m, com picos que ultrapassam 2.200 m. Ao sul, com cadeias de montanhas menores (entre 500 e 1.000 m), paralelas à linha de costa, apresentando distância média de aproximadamente 40 entre a Serra dos Órgãos e a linha de costa (Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ, 2001; Lima, 2009; PCI, 2003, citados por KCL, 2016).

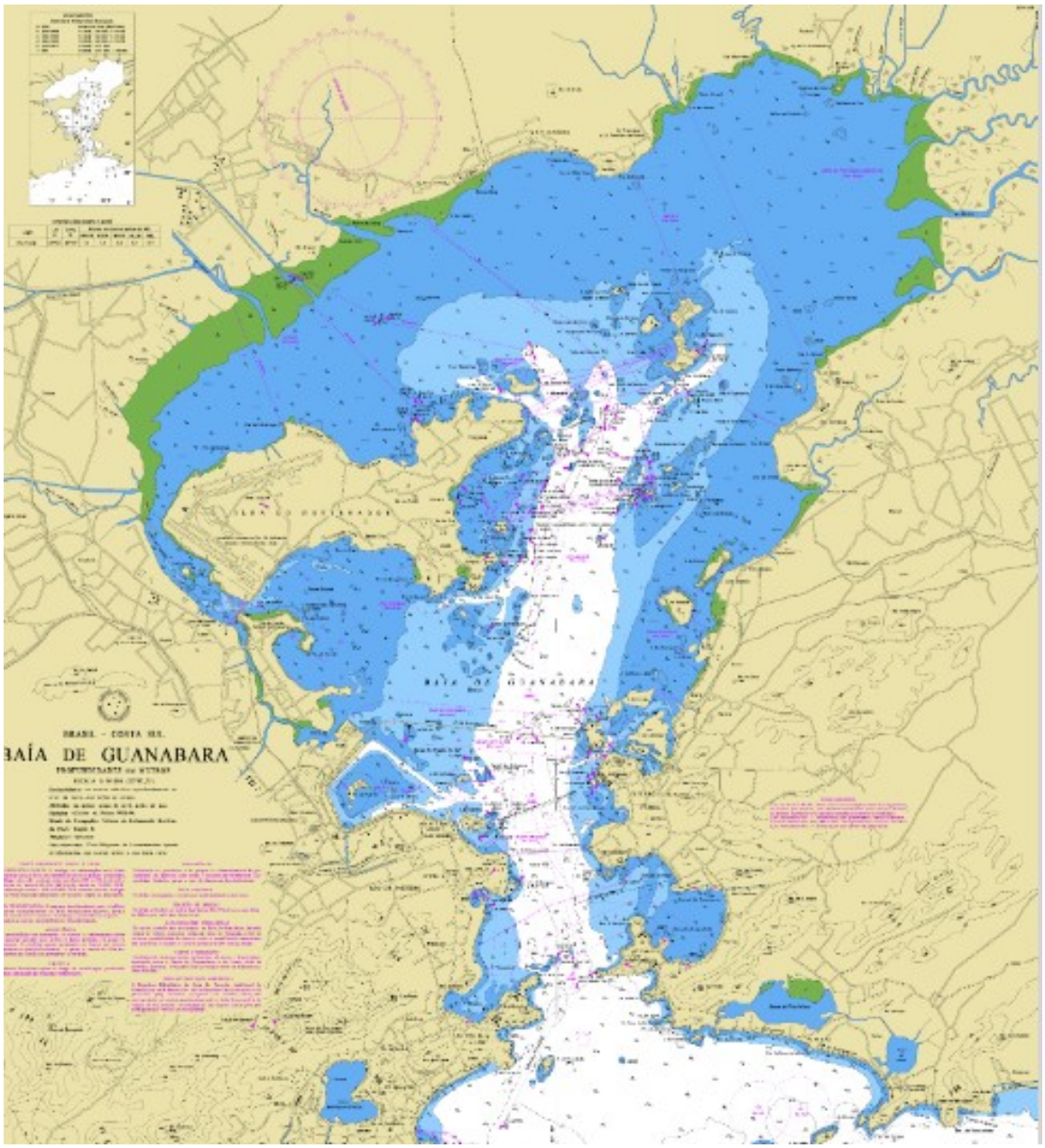


Figura 41. Carta náutica 1501 da Baía de Guanabara com detalhes da batimetria, ilhas e acidentes geográficos. Fonte: DHN (2006).

Nos maciços litorâneos, localizados mais próximos ao mar, as altitudes são menores e variam entre 400 e 1.000 m, enquanto aqueles situados a oeste - Serras da Tijuca e da Pedra Branca – são mais altos ao comparar com a Serra da Tiririca, situada na porção leste (Lima, 2009; PCI, 2003, citados por KCL (2016); Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ, 2001).

A barreira orográfica constituída pelos maciços e serras é, em grande parte, responsável pelas condições climáticas presentes na RH V, caracterizada como Tropical Brasil Central por apresentar altas temperaturas e umidade nas áreas de baixa altimetria e planícies costeiras, alterando-se para clima mesotérmico nas regiões mais altas e sub-quente mais seco nas regiões interiores, entre as serras (AGEVAP; CBH-BG, 2022; Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ, 2001).

Com relação à hidrografia, 35 tributários, 55 canais e diversos pequenos cursos d'água e riachos afluentes à Baía de Guanabara, Figura 42, são classificados como de regime torrencial. Nascem nos contrafortes das elevações situadas no entorno da RH V, em região colonizada por vegetação de Mata Atlântica, e fluem pelo abrupto relevo até as planícies flúvio-marinhas, apresentando cursos reduzidos, elevada energia e forte poder erosivo (Coimbra et al., 2021).

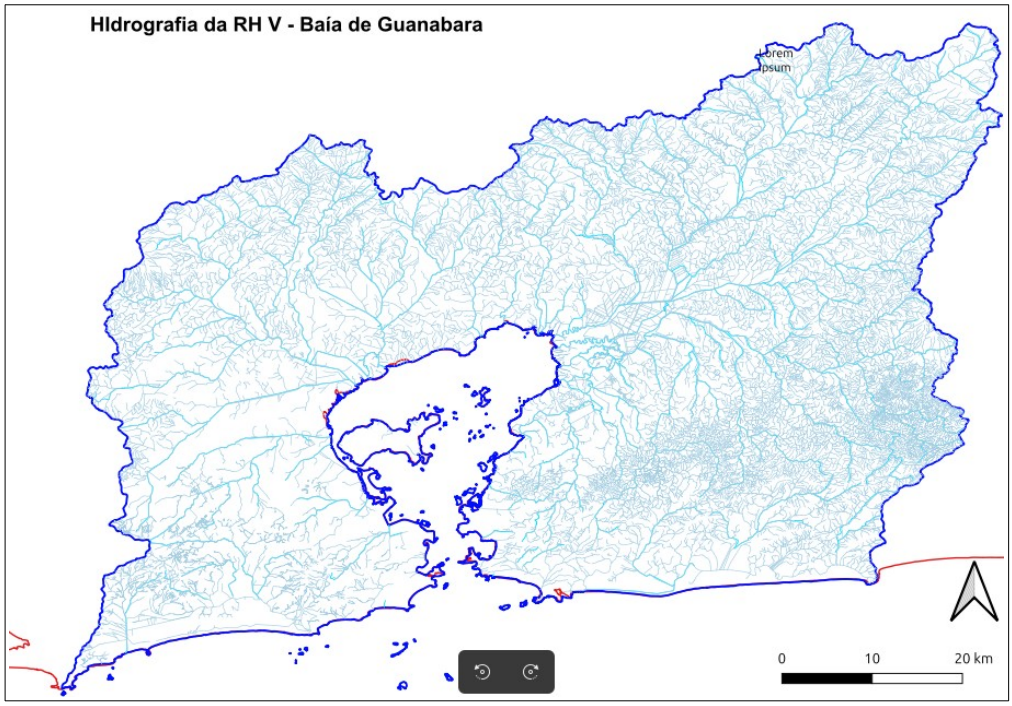


Figura 42. Hidrografia da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara. Fonte: (AGEVAP, 2020).

As coleções hídricas da RH V são agrupadas em 19 sub-bacias

hidrográficas continentais – números 02 a 19, Figura 43 - contribuindo com fluxo médio anual de 100 a 160 m^3s^{-1}. Dentre eles, destacam-se os tributários responsáveis por 85,5% do volume de água doce introduzido na Baía de Guanabara: rios Guapimirim (20,8%), Iguaçu (16,7%), Caceribu (13,7%), Estrela (12,7%), Meriti (12,3%) e Sarapuí (9,3%), como informa Kjerfve et al. (1997), citados por KCL (2016).

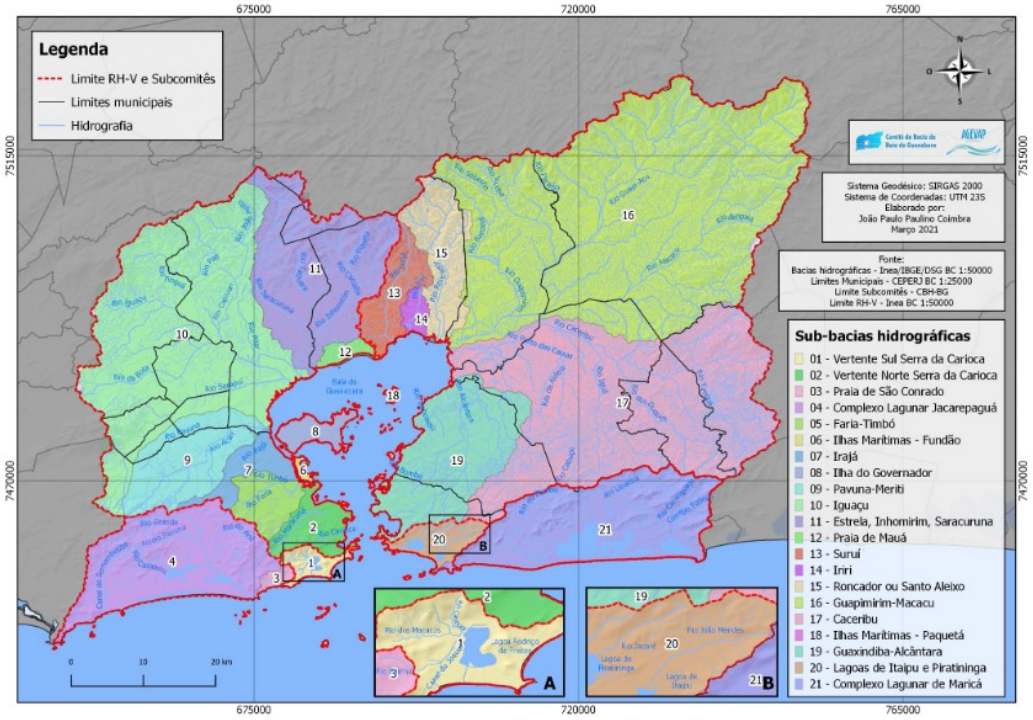


Figura 43. Sub-bacias e hidrografia da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara. Fonte: Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil (2015).

Muitos deles recebem efluentes domésticos e industriais de 70% das indústrias de todo o estado do Rio de Janeiro, com destaque para grandes empreendimentos petroquímicos, como a Refinaria de Duque de Caxias (REDUC), metalúrgicos, siderúrgicos, farmacêuticos e alimentícios (Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015).

Tendo em conta as disponibilidades, demandas e o balanço hídrico dos corpos d'água, a RH V foi subdividida em oito Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs), Figura 44, utilizada como a maior escala de planejamento definida pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI), de acordo com a

Fundação COPPETEC/Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente (2014).

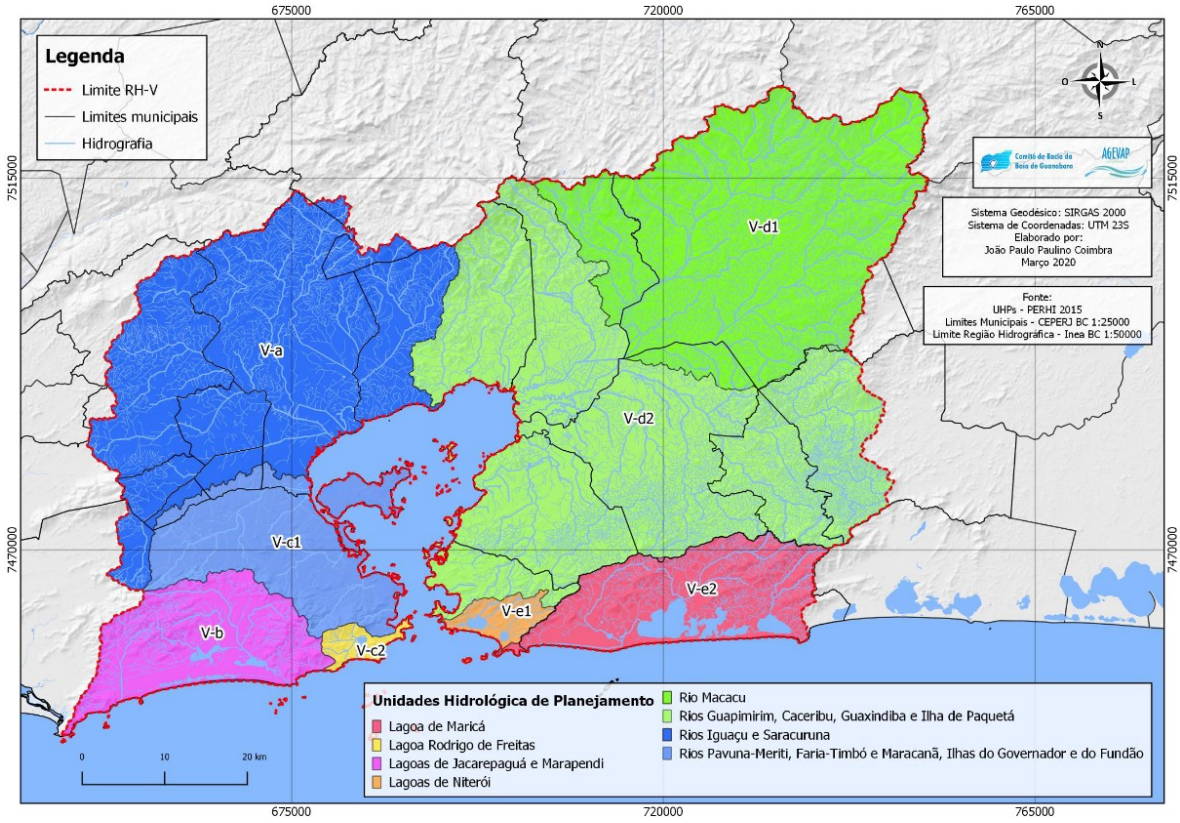


Figura 44. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara. Fonte: Coimbra et al. (2021).

4.2.2.2. Aspectos oceanográficos e sedimentológicos

Com relação às características fisiográficas e oceanográficas da Baía de Guanabara, sua profundidade varia desde poucos centímetros, em suas margens, até mais de 40 m no canal principal, com 84% da área da Baía apresentando profundidade inferior a 10 m e média de sete metros, Figura 45, de acordo com Figueiredo, 2014, citado por KCI (2016a).

A circulação é modulada pelo aporte fluvial, com descarga média de 100 ± 60 m^3/s, Figura 46, vento local e, principalmente, marés astronômicas e meteorológicas, Figuras 47 e 48, associadas às características oceanográficas da plataforma continental adjacente. É responsável, também, pela diluição da carga orgânica, efluentes industriais, poluentes e material em suspensão introduzidos

pelos corpos d'água afluentes.

A hidrodinâmica local é determinada predominantemente pelas correntes de maré semidiurnas, com amplitude máxima de 1,4 m. A velocidade das correntes é máxima na barra, variando entre 80 e 150 cm s^{-1}, diminuindo na parte central do canal, onde varia de 30 a 50 cm s^{-1}, atingindo 30 cm s^{-1} na porção interior (Mayr et al., 1989).

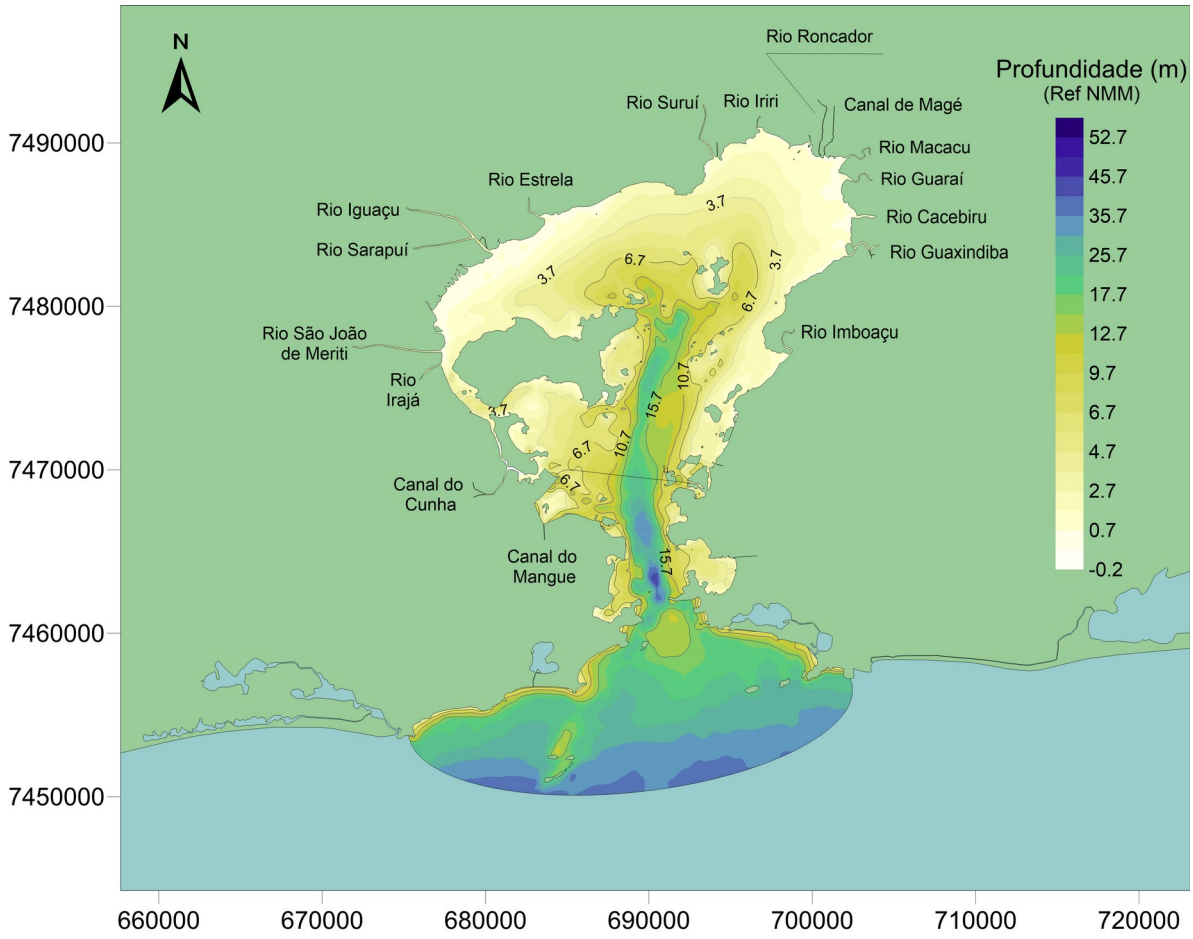


Figura 45. Batimetria e localização da foz dos principais tributários da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara. Fonte: Rosman (2017).

Como resultado, a taxa de renovação de aproximadamente 50% das águas da baía demanda cerca de 12 dias (Bérgamo, 2006; Kjerfve et al., 2002).

As condições hidrodinâmicas da região asseguram a circulação de diferentes massas d'água. A Baía de Guanabara, como resultado, caracteriza-se como uma região estuarina fraca a parcialmente estratificada, na dependência da

época do ano e das massas d'água presentes (Bérgamo, 2006).

O comportamento da temperatura e salinidade das águas da baía decorre da interação entre o aporte fluvial e as águas costeiras. Sazonalmente, constata-se distribuição diferenciada desses parâmetros oceanográficos acoplados à variação do aporte fluvial com tempo seco no período do inverno e tempo úmido, Figura 46, no período do verão e das chuvas (Mayr et al., 1989).

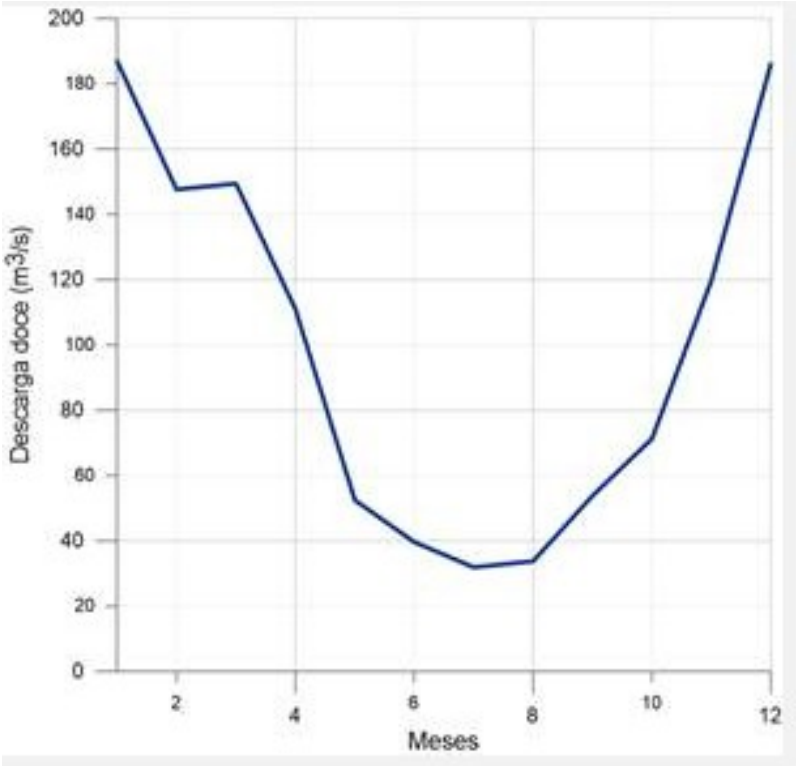


Figura 46. Curva de aporte de água doce na Baía de Guanabara. Fonte: Kjerfve et al. (1997), citados por Rosman et al. (Rosman et al., 2017).

No período seco, quando a descarga fluvial é menor, observa-se variação de salinidade de 34 na barra, ou boca, da Baía de Guanabara, e 29 na região do fundo. No período úmido, das chuvas, com maior aporte fluvial, constata-se maior diluição da água do mar e maior gradiente horizontal, com valores oscilando entre 33, na barra, e 13, nas proximidades do fundo da baía (Bérgamo, 2006).

A essas variações sazonais somam-se variações diárias, decorrentes das resultantes entre as marés astronômicas e meteorológicas, que exercem notável

influência diária no comportamento da salinidade, Figuras 47 e 48, conforme informam Rosman et al. (2017).

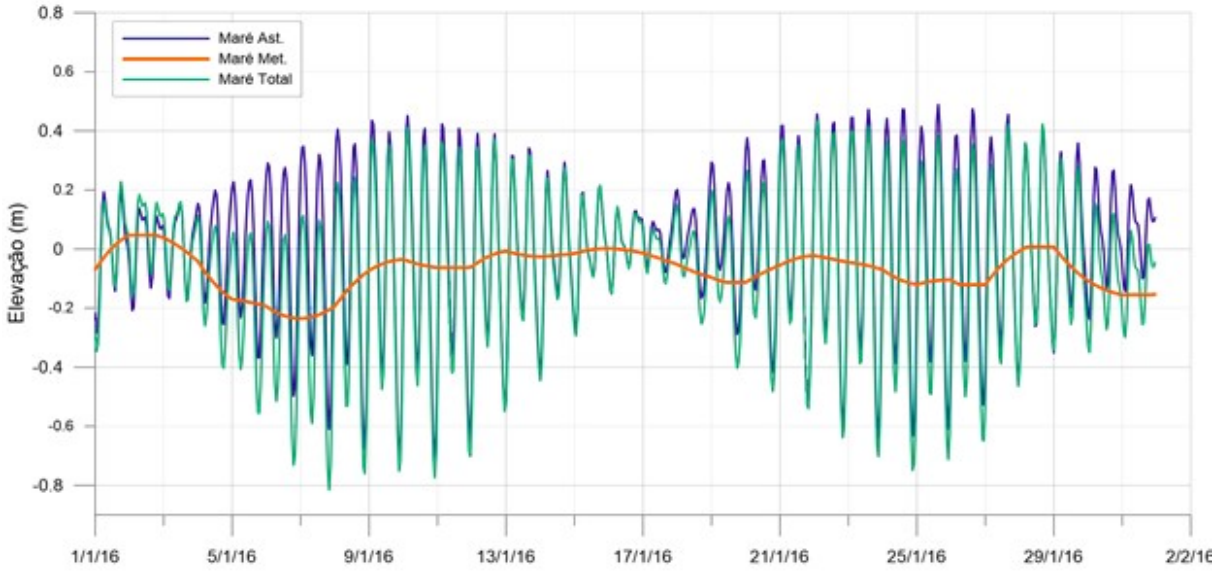


Figura 47. Simulação para série temporal de maré meteorológica, astronômica e resultante da interação de ambas para o mês de janeiro de 2016, com cotas relativas ao nível médio de maré, à qual deve-se somar 0,7 m em relação ao nível de referência adotado na modelagem correspondente ao NR da CN-1501 da DHN. Fonte: (Rosman et al., 2017).

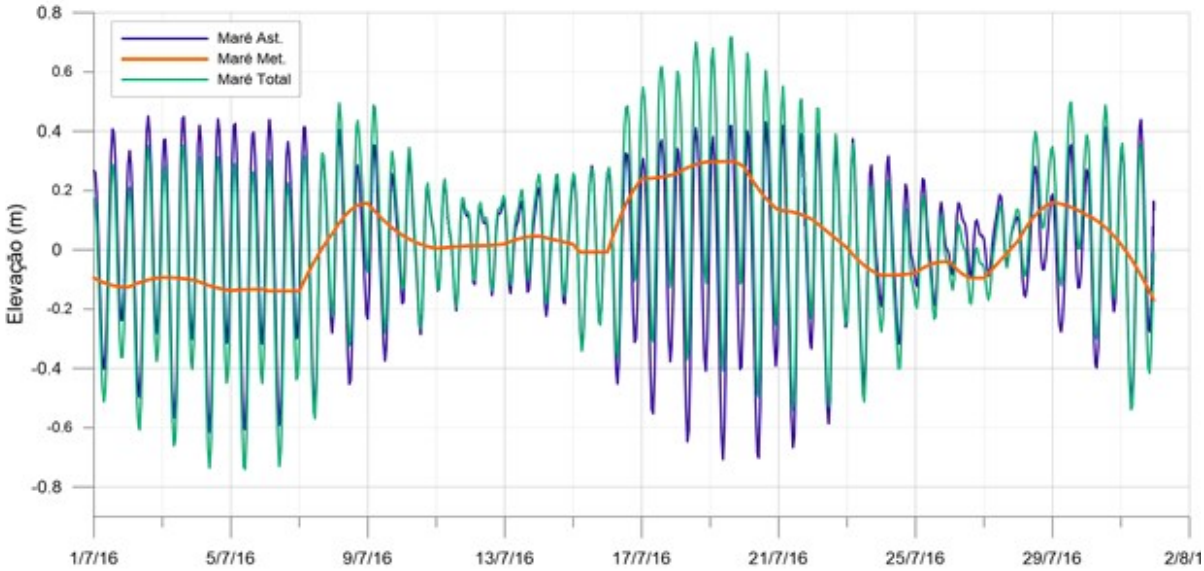


Figura 48. Simulação para série temporal de maré meteorológica, astronômica e resultante

da interação de ambas para o mês de julho de 2016, com cotas relativas ao nível médio de maré, à qual deve-se somar 0,7 m em relação ao nível de referência adotado na modelagem correspondente ao NR da CN-1501 da DHN. Fonte: (Rosman et al., 2017).

Assim, por ocasião da subida das marés e entrada de água salgada proveniente da região costeira na baía – na preamar – encontra-se maior salinidade no interior da baía e na região influenciada pelas águas costeiras. De maneira inversa, nas marés vazantes e baixa-mares, a salinidade diminui graças à saída das águas predominantemente mais doces que fluem do interior da baía (Valentin et al., 1999).

Como resultado das características oceanográficas, meteorológicas e geomorfológicas da Baía de Guanabara, e tendo em conta o padrão da circulação, propôs-se a divisão do corpo d'água em cinco regiões (Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015; Mayr et al., 1989), Figura 49, com características hidrológicas próprias para cada setor:

- Região 1: constituída pela área central e canal principal, por onde se dá a entrada e saída da água. Apresenta as melhores condições ambientais devido à maior circulação e aporte da água do mar;
- Região 2: próxima à barra da baía e abarcando a enseada de Botafogo e praia do Flamengo, no Rio de Janeiro, a oeste, bem como enseada de Jurujuba e Icaraí, em Niterói, a leste, sujeita a intensa poluição orgânica;
- Região 3: caracterizada por intensa degradação ambiental devido ao lançamento de esgotos domésticos, efluentes industriais e atividades de navegação marítima, agravados por hidrocarbonetos e poluentes decorrentes de embarcações e dos diversos estaleiros presentes na região portuária do Rio de Janeiro e Niterói;
- Região 4: determinada pelas águas de boa qualidade trazidas pelos rios menos degradados – Guapimirim e Caceribu, principalmente - onde se encontra a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, com os manguezais remanescentes da Baía de Guanabara; e

- Região 5: muito deteriorada devido ao aporte de diversos tributários drenantes de áreas densamente populadas, industrializadas e utilizadas para lixões, além de áreas em recuperação ambiental. Situação intensificada pela baixa hidrodinâmica e deficiente circulação no local.

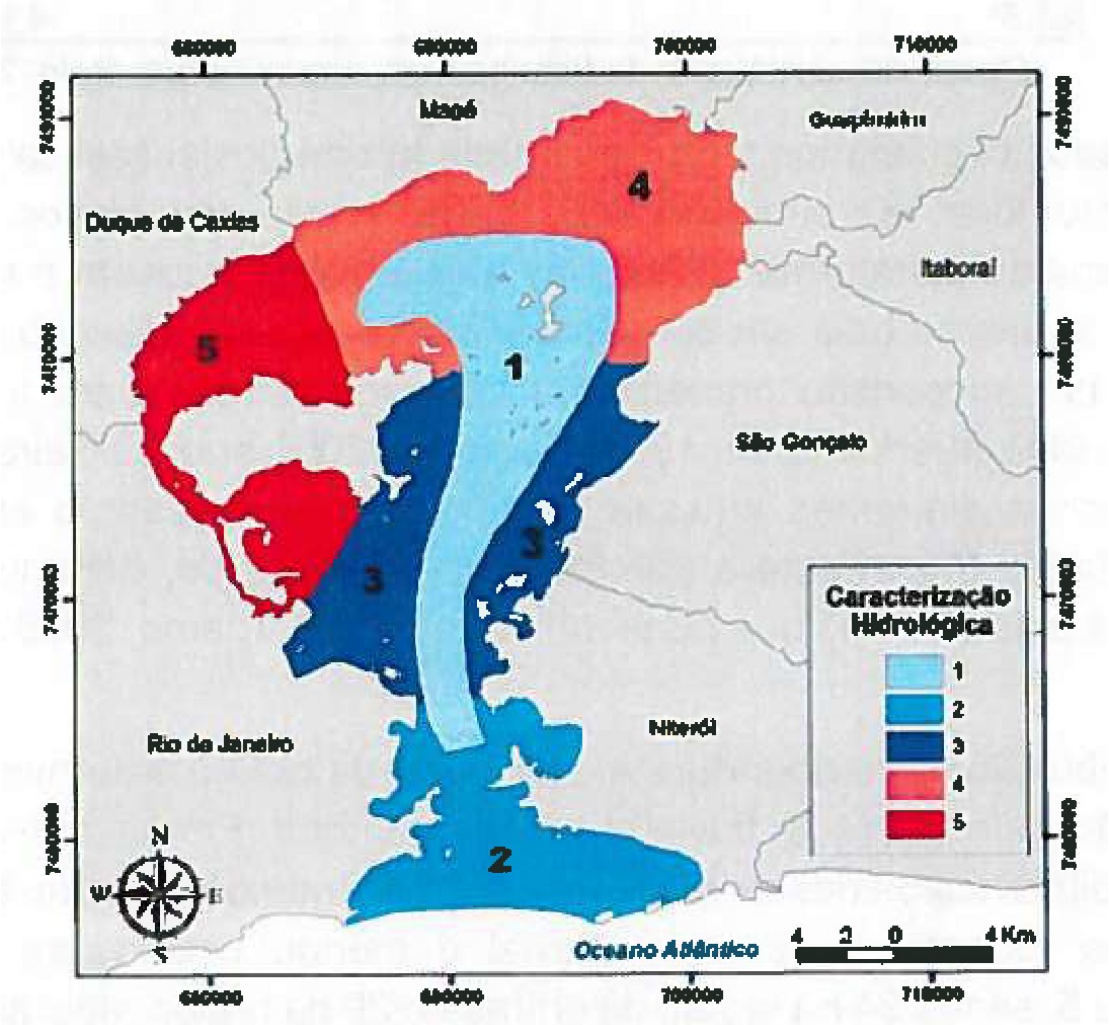


Figura 49. Divisão hidrológica da Baia de Guanabara. Fonte: adaptado de Mayr et al., 1989, por Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015.

Em decorrência do comportamento hidrodinâmico, definição dos setores apresentados na Figura 49 e configuração geomorfológica da região, ao seguir da barra para o fundo da baía, tendo como referência o alinhamento de Forte do

Gragoatá, em Niterói, margem leste, e aeroporto Santos Dumont, Rio de Janeiro, margem oeste, o canal principal alarga-se, acarretando a redução da velocidade das correntes, diminuição da competência e consequente deposição de sedimentos finos nos dois lados do canal, destacando a lama argilosa e silte argilosa (Fonseca; Neto; Pompermayer, 2021).

Quanto às características granulométricas do sedimento de fundo da Baía de Guanabara, constata-se a presença de sedimento arenoso na entrada da baía, seguindo pelo canal principal, a constituir a porção mais profunda da baía.

Observa-se, Figura 50, região de transição entre areia e lama, a evidenciar os limites de atuação dos processos oceânicos e continentais. Os setores norte e central da baía também são caracterizados pela presença de sedimentos lamosos, como resultado da interação entre correntes, marés e salinidade.

Na porção interna da baía, após a Ilha do Governador, no setor sudoeste, predominam sedimentos argilosos com maior granulometria do que no setor nordeste devido, depreende-se, à contribuição dos diversos tributários intensamente influenciados e impactados por ampla diversidade de tipos de atividades econômicas e urbanas presentes na área de drenagem (Fonseca; Neto; Pompermayer, 2021).

Por outro lado, no sedimento lamoso da parte nordeste da baía, Figura 50, predomina a fração argila. Possivelmente decorrente da baixa hidrodinâmica na área, bem como pela presença de vegetação de mangue que, agindo como armadilha de sedimentos, atenua a circulação e retém a fração mais fina.

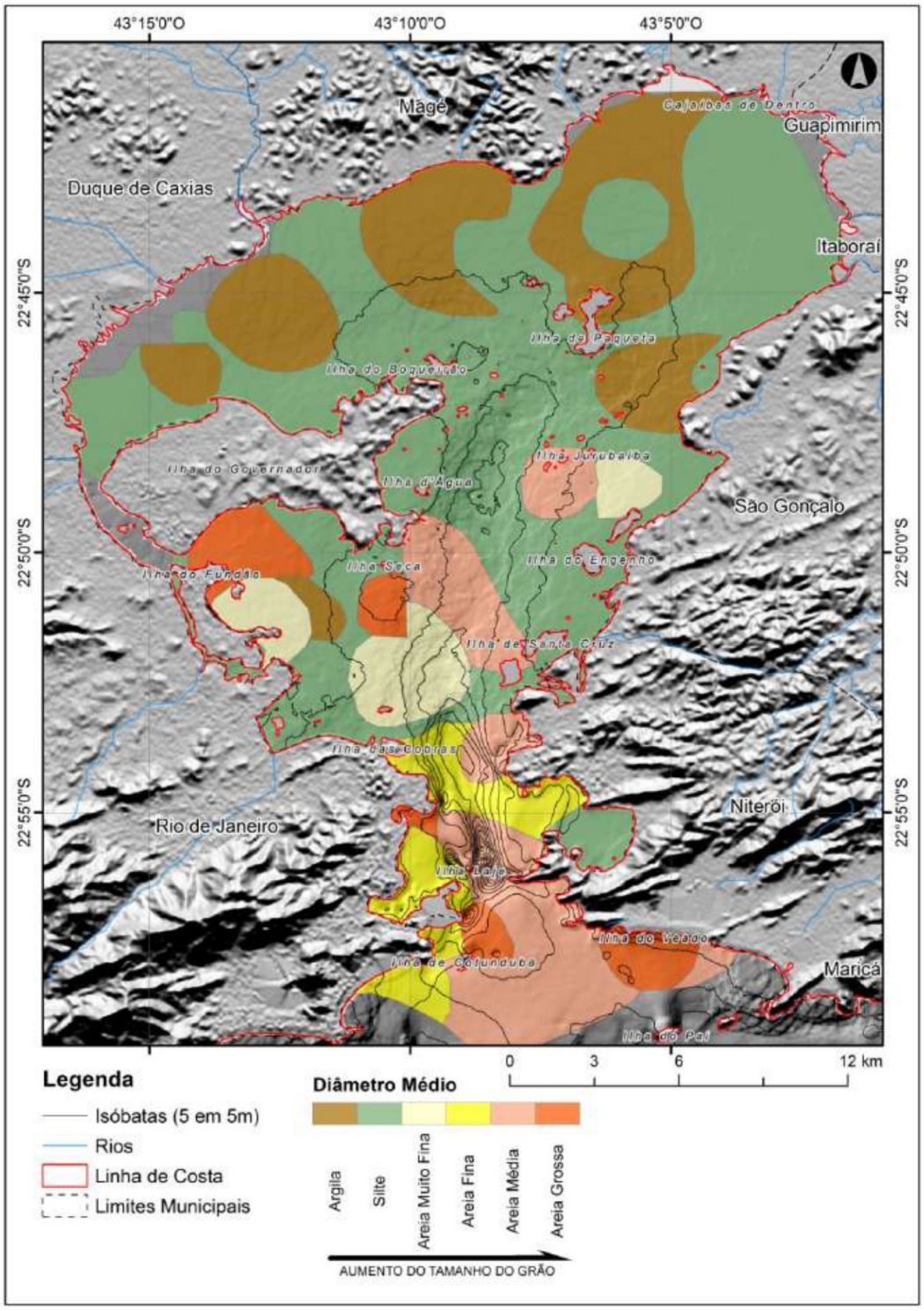


Figura 50. Características sedimentológicas do substrato a partir do diâmetro médio das partículas em amostras de sedimento na Baía de Guanabara. Fonte: Fonseca; Neto; Pompermayer (2021).

4.2.3. Região Hidrográfica II – Guandu e Baía de Sepetiba

4.2.3.1. Principais características da Baía de Sepetiba e bacia de drenagem

A Baía de Sepetiba está localizada no Estado do Rio de Janeiro, entre as coordenadas 22 °57’ e 23° 16’ sul e 44° 02’ e 44° 44’ oeste, na Região Hidrográfica II – Guandu, Figura 51.

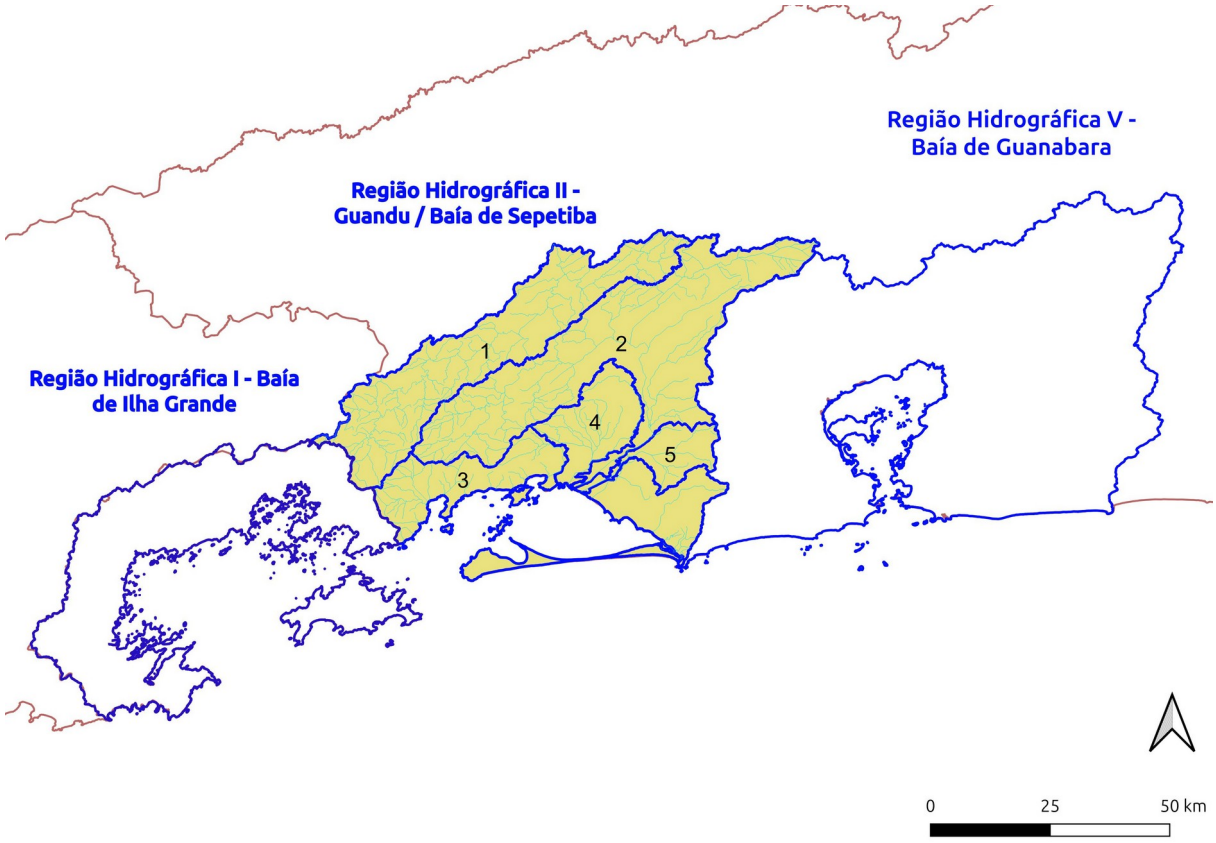


Figura 51. Região Hidrográfica II – Guandu e Baía de Sepetiba, bacias hidrográficas e coleções hídricas assinaladas na cor azul no contexto do estado do Rio de Janeiro e demais regiões hidrográficas. Fonte: AGEVAP (2020).

Apresenta cerca de 20 km no sentido norte-sul e 35 km no sentido leste-oeste, com perímetro podendo variar entre 170 km (Projeto PLANÁGUA SEMADS/GTZ, 2001) e 337 km (PERH Guandu, 2017).

O corpo d’água cobre cerca de 520 km^2 e a conexão com a Baía de Ilha Grande tem 15 km, enquanto a ligação com o oceano é de 12 km na linha delimitada pela Ponta dos Castelhanos, Ilha Grande e Morro da Marambaia, na restinga de mesmo nome.

Apresenta praias ao longo de 125 km de ambientes sedimentares entremeados por costões rochosos e entre 98 e 147 ilhas, Figuras 52 e 53, incluindo a segunda maior ilha do estado do Rio de Janeiro, a Restinga da Marambaia, com 78 km^2 (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a).

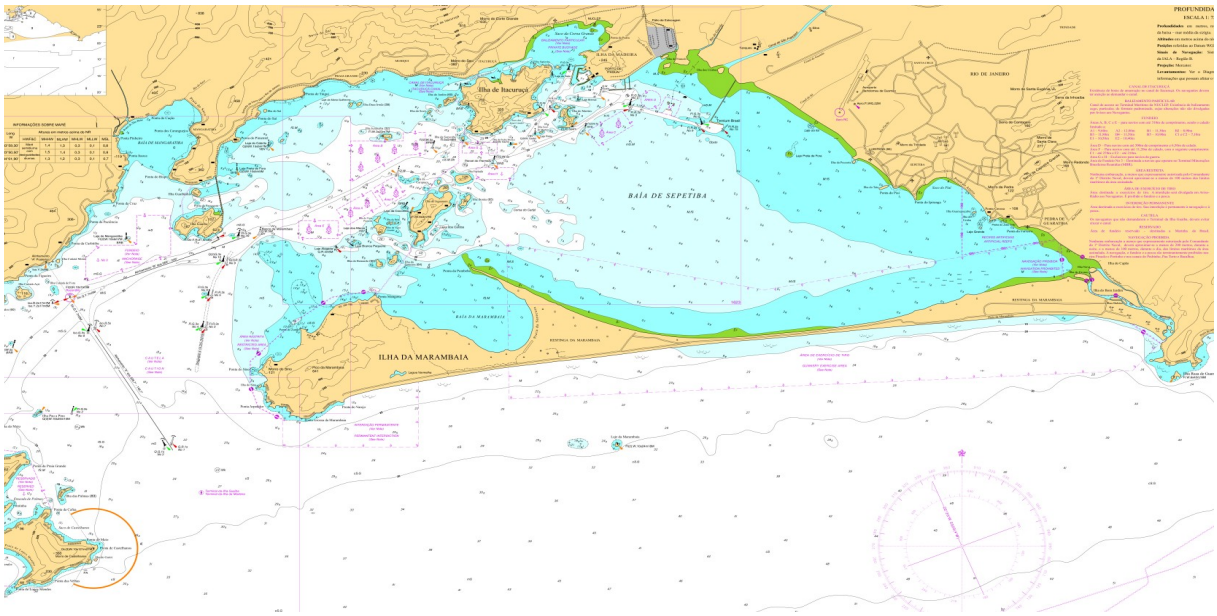


Figura 52. Carta náutica 1620 da Baía de Sepetiba, com detalhes da batimetria, ilhas e acidentes geográficos. Fonte: DHN (1986).



Figura 53. Vista da Baía de Sepetiba e parte da área de drenagem, com destaque para a intensa ocupação urbana na porção leste da RH II – Guandu. Fonte: Google Earth.

A Região Hidrográfica II – Guandu, abarcando os corpos d'água que drenam para a Baía de Sepetiba, perfaz área de 3.712,9 km^2 e corresponde a 8,5% do território estadual, com 15 municípios total ou parcialmente nos seus limites. Congrega 1.876.311 habitantes, com 1.831.319 em áreas urbanas, correspondendo a 97,6% de urbanização, e 44.992 na área rural (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a; PROFILL Engenharia, 2018).

Quanto à geomorfologia, é constituída por montanhas e escarpas da vertente oceânica da Serra do Mar (domínio serrano) na parte sudoeste e nordeste da bacia, pelos maciços ao longo da faixa costeira na direção norte–nordeste (Pedra Branca, Mendanha e Ilha de Marambaia), cujas partes mais elevadas variam entre 200 e 800 metros, Figura 54. E, distintivamente, a extensa planície flúvio-marinha (domínio da Baixada), que forma a Baixada de Sepetiba (PERH-GUANDU, 2006, citado por PROFILL Engenharia, 2018).

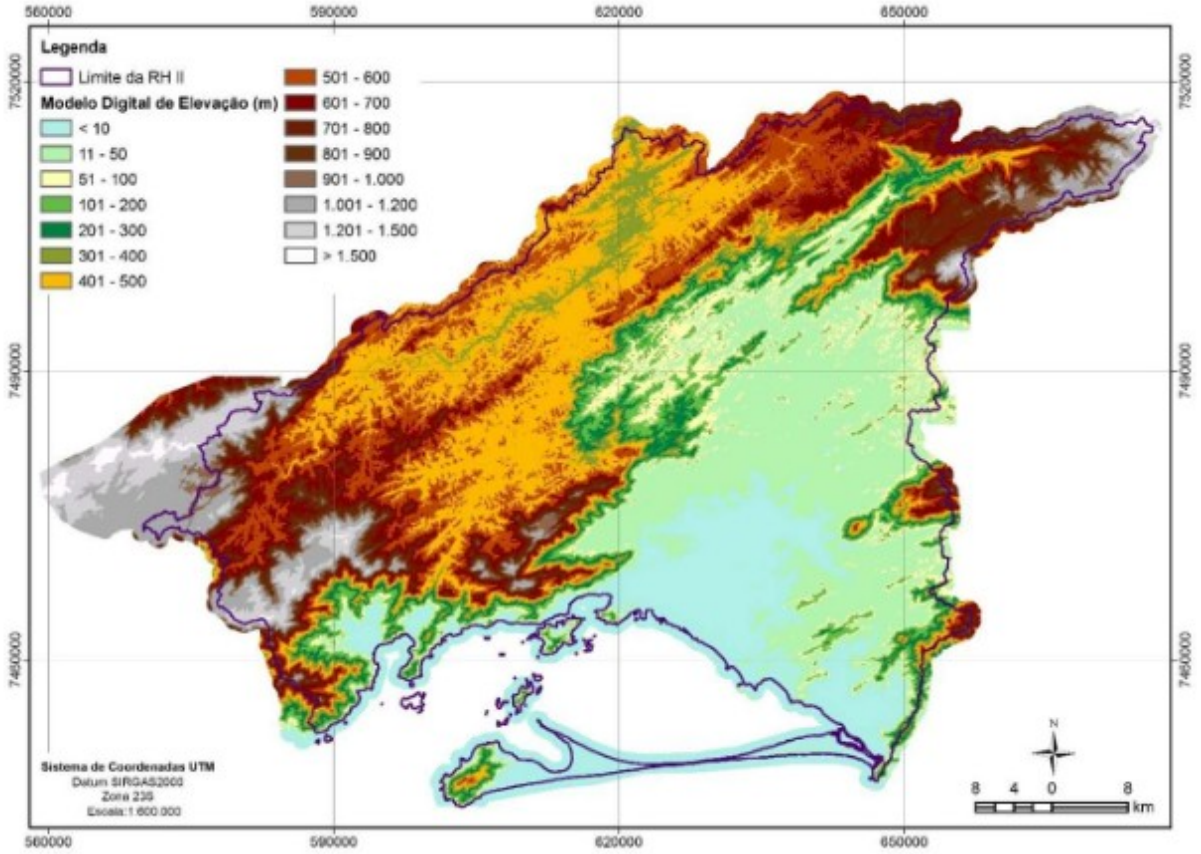


Figura 54. Modelo Digital de Elevação do Terreno gerado a partir da base cartográfica 1:25.000 do IBGE para RH II e entorno. Fonte: PROFILL Engenharia (2017a).

O clima dessa RH II é caracterizado como tropical úmido, com temperatura média anual variando entre 17,8 °C a 31,5 °C e alta precipitação pluviométrica variando de 1000 mm a 2300 mm (INMET, 2017, citado por PROFIL Engenharia 2018).

No que respeita à hidrografia, os principais tributários, alguns dos quais nomeiam as sub-bacias, possibilitaram delimitar 53 sub-bacias hidrográficas agrupadas em 13 UHPs, Figuras 55 e 56. Bem como diversos cursos d'água presentes nas bacias litorâneas, tanto na margem esquerda como direita, cuja área drenada e percentual da área total da UHP II – Guandu, apresentados no Quadro 21.

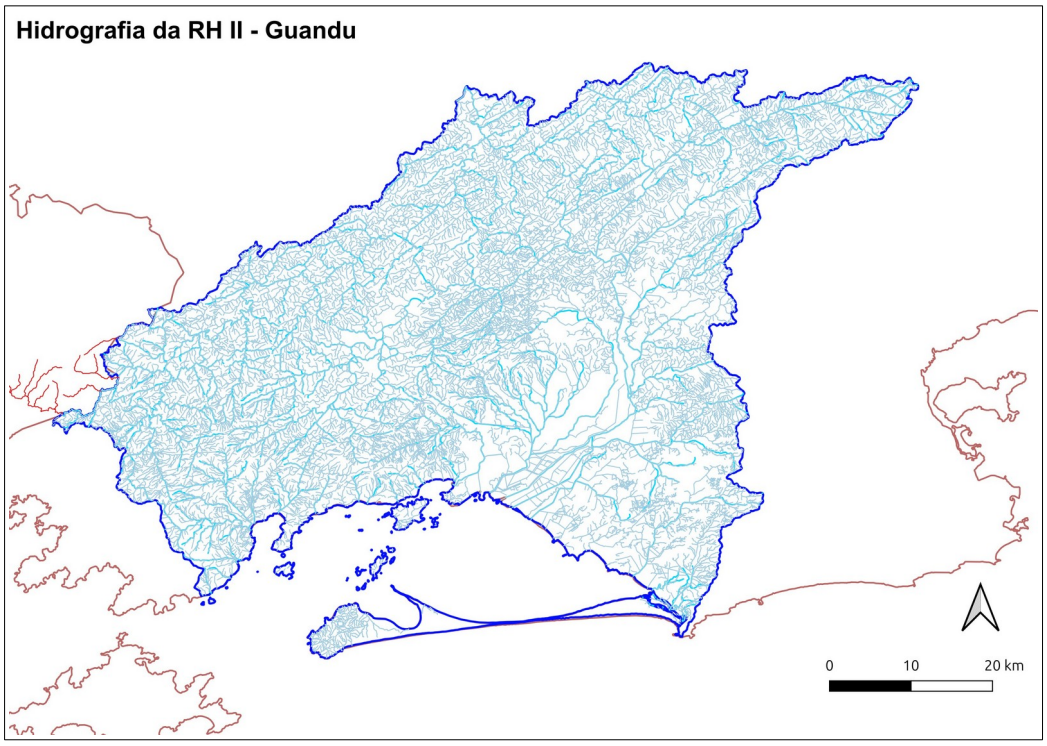


Figura 55. Hidrografia da Região Hidrográfica II – Guandu. Fonte: AGEVAP (2020).

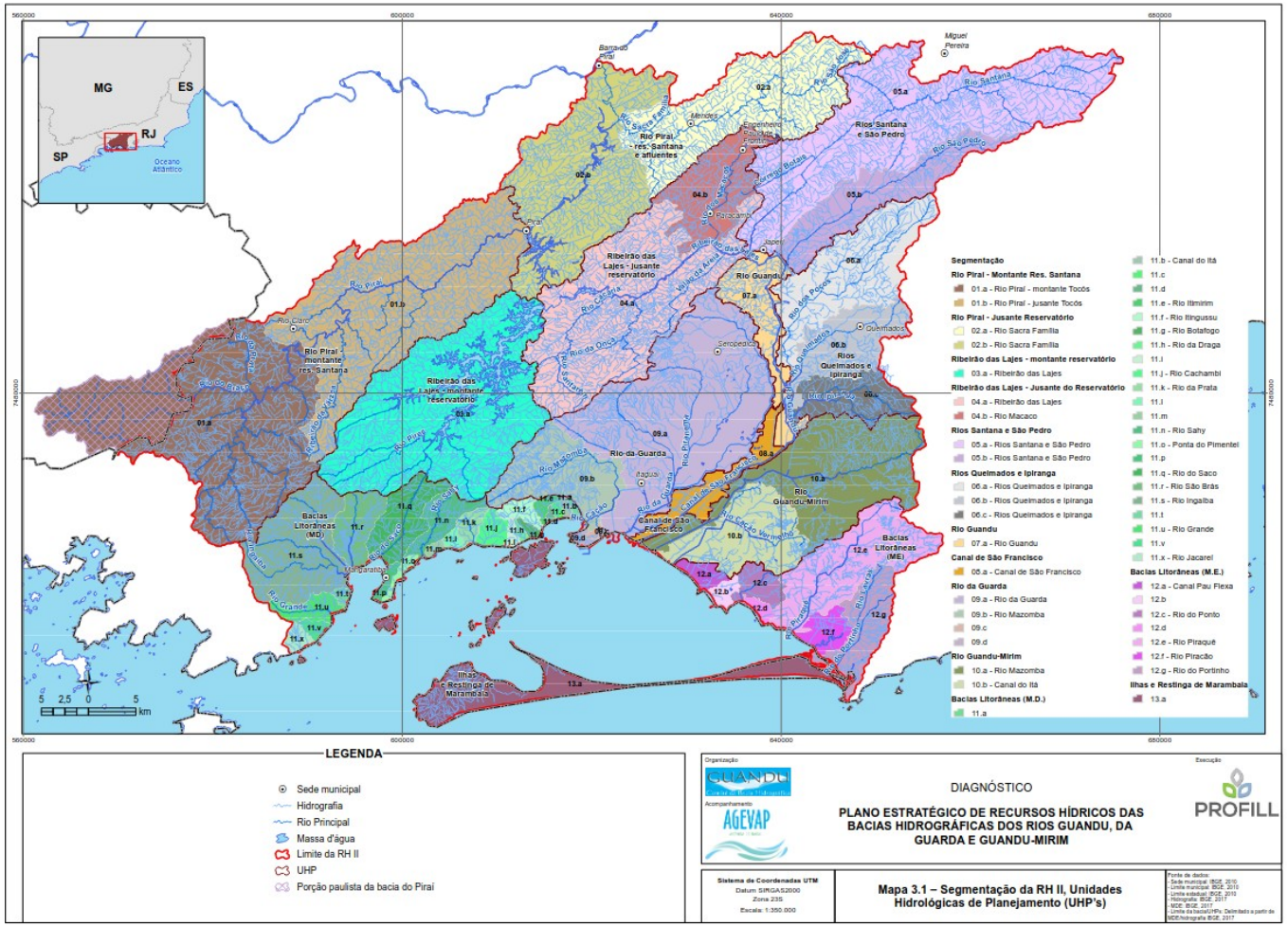


Figura 56. Rios, bacias hidrográficas e Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) na RH II – Guandu. Fonte: PROFIL Engenharia (2017a).

Quadro 21. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs), sub-bacias e principais tributários, incluindo área drenada e percentual da área da RH II – Guandu. Fonte: PROFILL Engenharia (2017a).

UHP	Legenda	Sub-bacia	Área (km^2)	Área total na UHP (km^2)	%
Rio Piraí – montante do reservatório Santana	01.a	Rio Piraí – montante do reservatório Tocós	275,29	696,30	18%
	01.a	Rio Piraí – montante do reservatório Tocós (SP)	104,29		
	01.b	Rio Piraí – jusante do reservatório Tocós	316,72		
Rio Piraí - reservatório Santana e afluentes	02.a	Rio Sacra Família	189,90	421,61	11%
	02.b	Reservatório Santana/Foz Piraí	231,71		
Ribeirão das Lages - montante do reservatório	03.a	Ribeirão das Lages - montante do reservatório	320,70	320,70	8%
Ribeirão das Lages – jusante do reservatório	04.a	Ribeirão das Lages – jusante do reservatório	264,44	345,42	9%
	04.b	Rio Macaco	80,98		
Rios Santana e São Pedro	05.a	Rio Santana	328,84	424,65	11%
	05.b	Rio São Pedro	95,82		
Rios Queimados e Ipiranga	06.a	Rio dos Poços	129,21	250,29	7%
	06.b	Rio Queimados	69,97		
	06.c	Rio Ipiranga	51,11		
Rio Guandu	07.a	Rio Guandu	63,69	63,69	2%
Canal de São Francisco	08.a	Canal de São Francisco	41,19	41,19	1%
Rio da Guarda	09.a	Rio da Guarda	302,10	393,08	10%
	09.b	Rio Mazomba	85,52		
	09.c	-	2,10		
	09.d	-	3,36		
Rio Guandu-Mirim	10.a	Rio Guandu-Mirim	177,59	263,05	7%
	10.b	Canal do Itá	85,46		
Bacias Litorâneas (Margem direita - MD)	11.a	-	1,92	287,56	8%
	11.b	Rio dos Pereiras	1,90		
	11.c	-	1,74		
	11.d	-	1,01		
	11.e	Rio Itimirim	4,40		
	11.f	Rio Itingussu	9,10		
	11.g	-	2,81		

UHP	Legenda	Sub-bacia	Área (km^2)	Área total na UHP (km^2)	%
	11.h	Rio da Draga	1,76		
	11.i	-	3,16		
	11.j	Rio Cachambi	9,91		
	11.k	Rio da Prata	8,09		
	11.l	-	3,52		
	11.m	-	2,40		
	11.n	Rio Sahy	22,90		
	11.o	Ponta do Pimentel	5,10		
	11.p	-	4,40		
	11.q	Rio do Saco	41,48		
	11.r	Rio São Brás	30,67		
	11.s	Rio Ingaíba	101,56		
	11.t	-	3,06		
	11.u	Rio Grande	15,59		
	11.v	-	4,78		
	11.x	-	6,28		
Bacias Litorâneas (Margem esquerda - ME)	12.a	-	9,67		
	12.b	-	6,73		
	12.c	Rio do Ponto	17,36		
	12.d	-	4,43	213,92	6%
	12.e	Rio Piraquê	105,08		
	12.f	Rio Piracão	18,53		
	12.g	Rio do Portinho	52,13		
Ilhas e Restinga de Marambaia	13.a	-	94,20	94,20	2%
Total Geral			3.815,67	3.815,67	100%

4.2.3.2. Aspectos oceanográficos e sedimentológicos

A Baía de Sepetiba apresenta a forma aproximada de uma elipse, com cerca de 40 km de comprimento e 15 km de largura total, com área do espelho d'água de pouco mais de 300 km^2.

Caracteriza-se como um corpo de águas salinas e salobras, cujo contato com o oceano se dá por dois canais, ou barras. Uma delas, a oeste, delimitada pela Ponta da Marambaia e Ponta dos Castelhanos, na Ilha Grande, com cerca de 12 km, e outra a leste, com cerca de um quilômetro no início do Canal do Pedrinho e Canal

do Pau Torto, afunilando-se até atingir centenas de metros na barra de Guaratiba a leste (Cunha; Rosman; Monteiro, 2001; Villena et al., 2012).

Apresenta longo cordão arenoso ancorado a leste, na Barra de Guaratiba, e, a oeste, na Ponta da Marambaia, apresentando, em alguns locais, restinga com poucas dezenas de metros de largura separando o corpo d'água lagunar do oceano.

As menores profundidades e declividades estão presentes no setor leste, fundo da baía, enquanto locais mais profundos, variando de 8 a 10 m, no canal central ao avançar para oeste (Stevenson et al., 1998; Borges, 1990; citados por Villena et al., 2012), como demonstrado pelos mapas da fisiografia de fundo e batimetria da região, Figuras 57 e 58, identificando dois setores distintos (Villena, 2003, 2004; Villena et al., 2012).

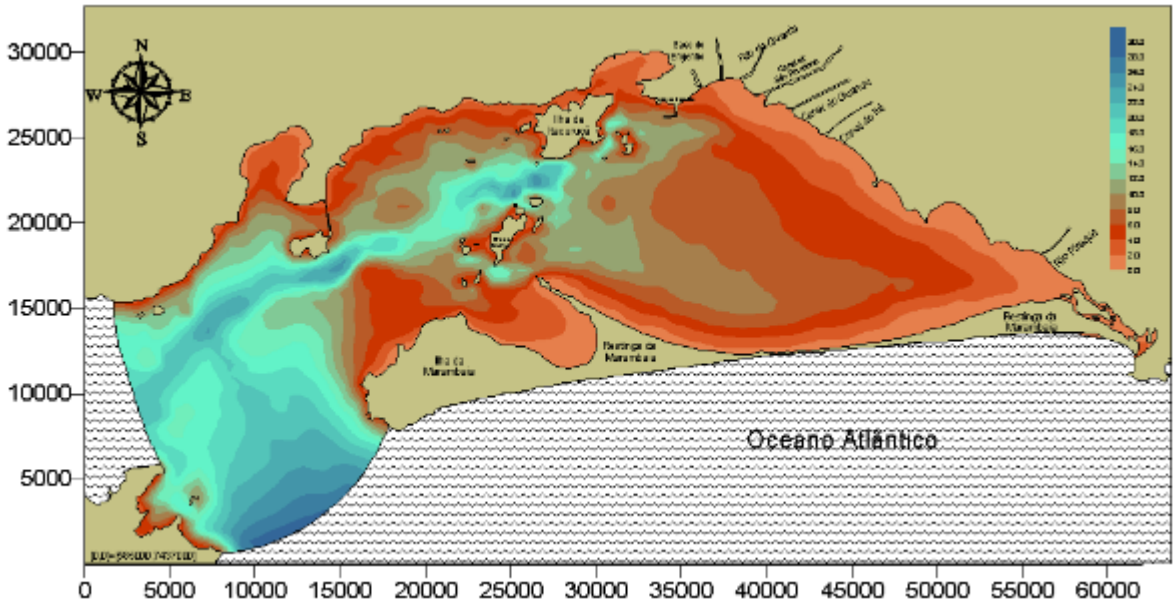


Figura 57. Topografia de fundo da Baía de Sepetiba. Fonte: Cunha; Rosman; Monteiro (2001).

O setor leste apresenta relevo suave e assimétrico, com a porção mais profunda deslocada para o sul, junto à restinga. Apresenta menores gradientes de declividade e relevo suave, notadamente no centro da baía. Com destaque, na margem norte, graças ao flanco do leque de deposição sedimentar dos rios que ali deságuam, formando deltas, estuário e planície de marés, entre outras feições costeiras (Roncarati; Carelli, 2012).

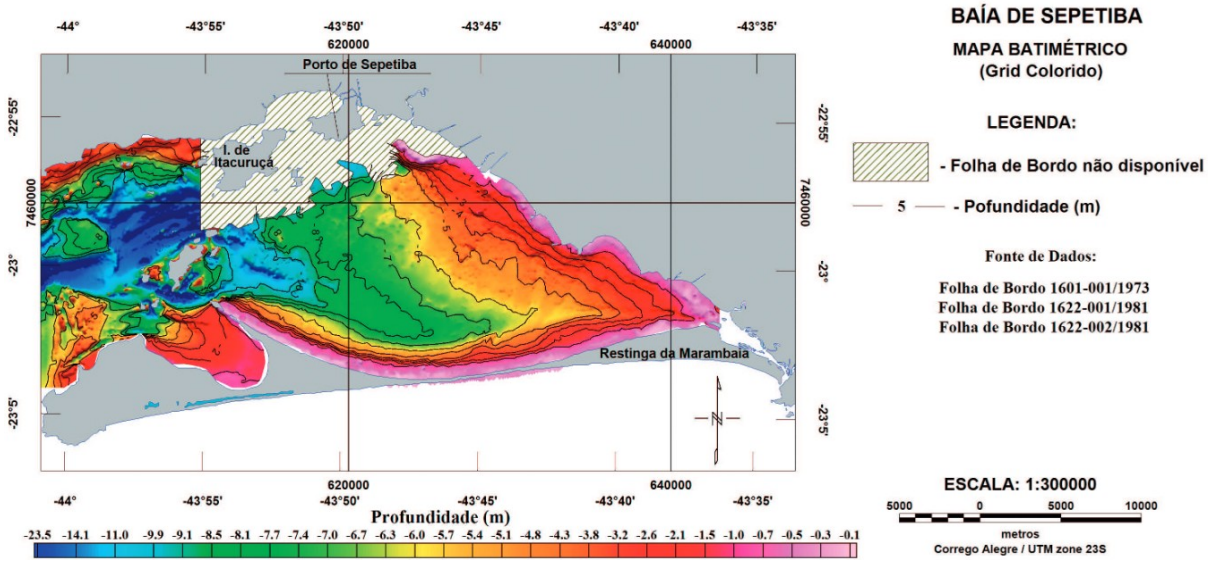


Figura 58. Relevo de fundo e batimetria da Baía de Sepetiba. Fonte: Villena et al. (2012).

A margem sul, junto à Restinga da Marambaia, apresenta pequeno talude contínuo e declividade acentuada entre 2 e 5 m de profundidade, desde a Ilha e Ponta da Pombeba até a linha definida pela Ilha do Tatu, Ponta do Piai, Ponta do Ipiranga e Restinga da Marambaia, com as Ilhas do Cavaco, Nova, do Bom Jardim e Baleias, já no Canal do Pau Torto e do Pedrinho, na Barra de Guaratiba (DHN, 2015). Essas características fisiográficas demonstram que a influência do embasamento, responsável pelo fornecimento de material sedimentar graças ao intemperismo, ocorre principalmente na margem norte-nordeste (Villena et al., 2012).

O setor oeste distingue-se por relevo acidentado e presença de diversas ilhas, lajes e rochosos, além das maiores profundidades da lâmina d'água na baía e gradiente elevado junto às encostas das ilhas, taludes dos canais e lajes, enquanto na porção sul, próximo ao cordão arenoso da restinga, o relevo passa a ser suave com baixos gradientes de declividade. Destacam-se, ainda, os canais, como o canal de passagem de água oceânica pela boca delimitada pela Ponta da Marambaia e Ilha Grande, canal ao sul da Ilha de Jaguanum, canal entre a Ilha de Jaguanum e Ilha de Itacuruçá, além do canal entre a Ilha de Itacuruçá e continente (Stevenson,

1998, e Borges, 1990, citados por Villena et al., 2012).

As características texturais do sedimento de fundo na Baía de Sepetiba apresentam notáveis variações, Figuras 59 e 60. Na entrada da baía, a oeste, e nos canais principais, provavelmente determinados pelas fortes correntes e alta profundidade daquela região, são arenosos. Já os depósitos intermediários, constituídos por areia com lama e lama com areia, situam-se na região de transição entre sedimento arenoso e lamoso, tanto no setor leste como no norte da baía, regiões com pouca profundidade, baixa hidrodinâmica e predominância de substrato lamoso (Pereira et al., 2003).

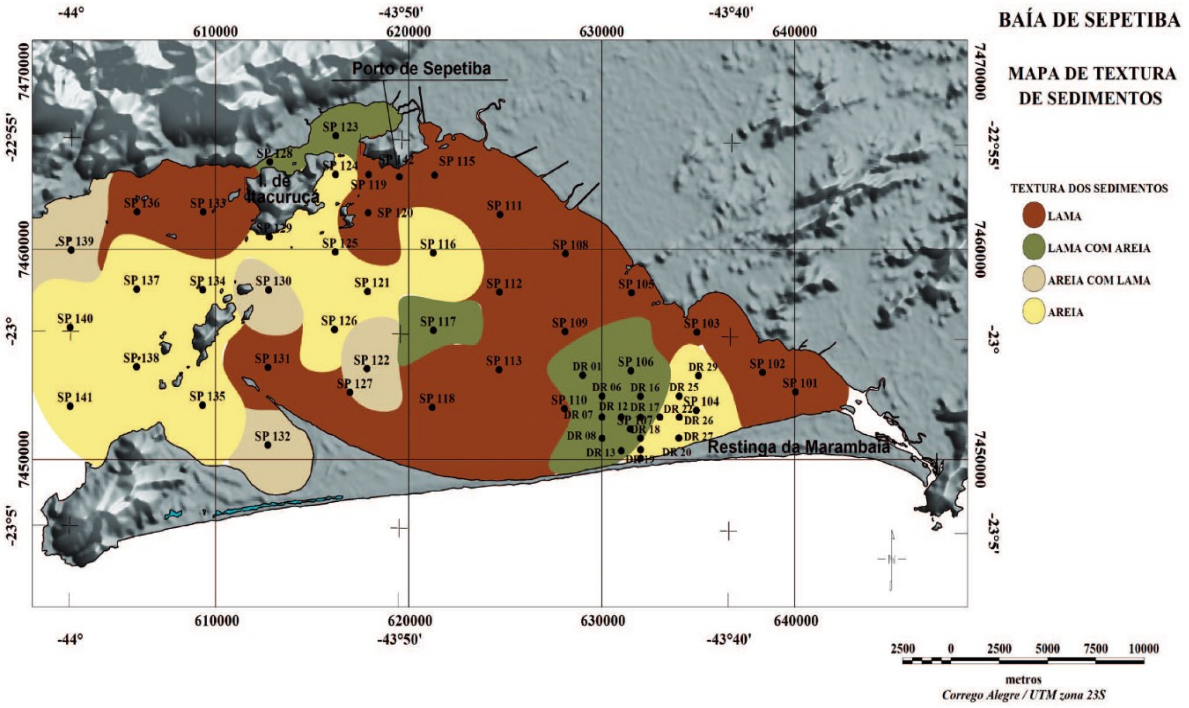


Figura 59. Distribuição textural do sedimento superficial da Baía de Sepetiba. Fonte: adaptado de Pereira et al. (2003) por Villena et al. (2012).

A presença de sedimento arenoso na parte SE da baía foi creditada ao eventual transporte eólico do sedimento das dunas localizadas na restinga devido à ação das frentes frias (Pereira et al., 2003).

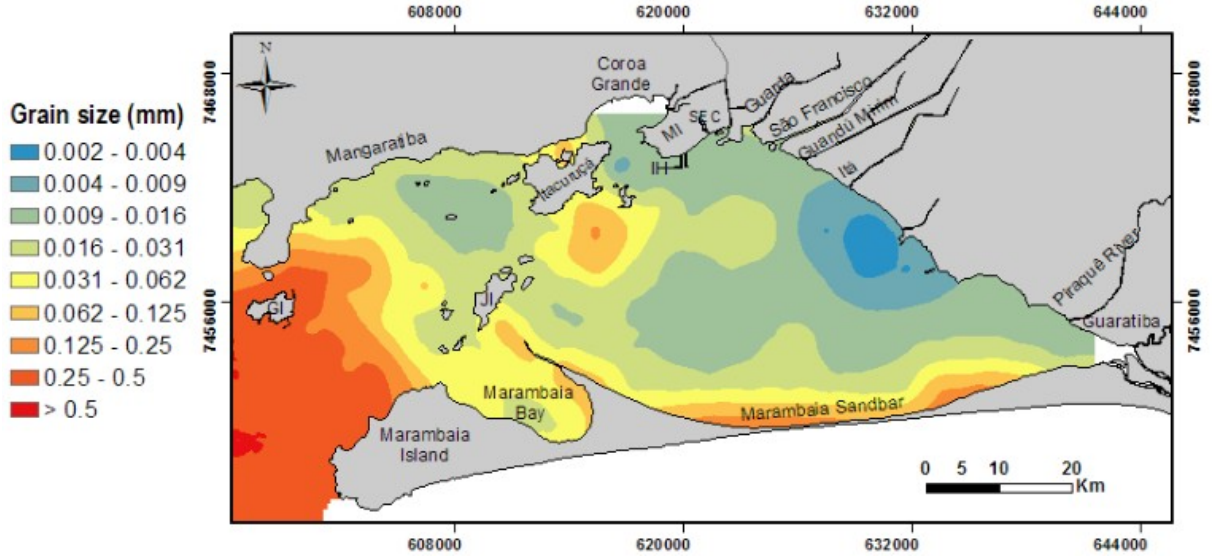


Figura 60. Faixas da distribuição granulométrica do sedimento superficial da Baía de Sepetiba a partir dos dados de Ponçano (1976) e Pereira et al. (2003). Fonte: Rodrigues (2018).

Já a presença de lama na porção S-SW da baía aparenta decorrer da circulação local que adentra pelo canal central, contorna a baía, passa pela área de deságue dos rios e retorna margeando a parte interna da restinga, na porção sul (Borges, 1998, citado por Pereira et al. (2003).

Incluindo a região entre a Ilha de Itacuruçá e o continente, onde o sedimento lamoso advém do aporte fluvial e, graças à baixa hidrodinâmica local e menor intensidade das correntes, possibilita a deposição dos finos (Pereira et al., 2003).

Quanto à origem do sedimento na região, os mais finos decorrem da drenagem continental, enquanto os grosseiros, como areia, possivelmente de três fontes: canais de Barra de Guaratiba, pouco representativos, boca da baía entre a Ilha Grande e a Ponta da Marambaia, além da eventual contribuição da Baía de Ilha Grande por meio dos canais presentes na interface entre as duas baías (Villena et al., 2012).

As fontes externas de sedimento estão associadas à rede hidrográfica que deságua na porção norte/nordeste da baía, com papel destacado para o Rio Guandu pela maior contribuição (Suguio et al., 1979, citado por Villena et al., 2012).

Com relação às fontes internas, a matéria orgânica é oriunda dos manguezais, os carbonatos são gerados pela biota local e, quanto ao material

inorgânico, areia remobilizada da restinga (Brönnimann et al., 1981, citados por Villena et al., 2012).

O desigual aporte de material sedimentar nas diferentes áreas da Baía de Sepetiba retrata, a título de síntese, o equilíbrio dinâmico entre a descarga dos rios responsáveis pela erosão, transporte e deposição do material dos terrenos emersos no subgráben Guandu-Sepetiba, e o retrabalho realizado pelas águas oceânicas e correntes litorâneas ao longo do Quaternário e Holoceno, responsável pela configuração da estrutura e cobertura sedimentar da região (Castelo, 2020).

A circulação, de baixa energia, mas responsável pela sedimentação na região, apresenta sentido horário e comportamento quase estacionário. Comporta-se similarmente a um sistema estuarino parcialmente misturado e influenciado por componentes de circulação gravitacional e residual de maré, ainda que independente dela, intensificadas pelo vento, associada à circulação da Baía de Ilha Grande (Correa et al., 1997; Ikeda et al., 1989; Signorini, 1980; Fragoso, 1999, citados por Belo, 2002).

Nesse contexto, a circulação seria definida por fluxo quase estacionário para leste, induzido por gradientes de densidade, com a velocidade influenciada pela geometria local e estratificação da coluna d'água. A esse quadro soma-se a descarga dos cursos d'água na Baía de Sepetiba, à penetração sazonal da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e à influência de correntes longitudinais costeiras de direção leste-oeste presentes na região costeira do estado do Rio de Janeiro (Miranda et al. 1977; Miranda e Steenson, 1982; citados por Belo, 2002; Rosman et al., 2018).

Villena et al. (2012), tendo em conta as contribuições de DHN (1986) e FEEMA/GTZ (1998), informam que a circulação decorre, predominantemente, de correntes associadas às marés, passíveis de, em alguns locais, apresentarem velocidades que podem exceder 1,5 nó (milha náutica por hora) no canal principal, entre as ilhas de Jaguanum e Itacuruçá, associadas à enchente e vazante, mas também influenciadas pelo aporte de água doce determinado pelo regime pluviométrico.

A renovação da água na Baía de Sepetiba é determinada pela maior precipitação pluviométrica e influência dos rios, no verão, com destaque para o canal de São Francisco. Já no inverno, período seco, quando ocorre maior entrada de águas oceânicas devido à passagem das frentes frias, e consequente aumento do nível relativo do mar, favorecendo a renovação das águas graças ao aporte oceânico tanto a leste, na Barra de Guaratiba, como, e principalmente, a oeste, na barra com a Ilha Grande (Rosman et al., 2018).

A parte central da Baía de Sepetiba, com baixa renovação da água, pode estar relacionada com a entrada e saída cíclica de água devido à ação das marés, segundo os mesmos autores acima citados.

Concluindo, Villena et al. (2012) afirmam que as águas frias e densas da ACAS penetram na baía pelo fundo, por meio de seus canais principais na porção oeste. Nas proximidades da desembocadura do rio Guandu, após ser aquecida, ascende e contorna a baía, no sentido horário, saindo na camada superficial da coluna d'água nos mesmos canais por onde entrou em superposição. Comportamento que difere parcialmente daquele descrito por Bronimann et al. (1981) e Stevenson et al. (1998), de acordo com Villena et al. (2012).

O quadro descrito demonstra que o comportamento das correntes e da circulação na Baía de Sepetiba carece de informações e medições *in situ*, uma vez que a maioria dos resultados apresentados decorre de modelagem numérica. Situação agravada pela desconsideração da influência do canal de Barra de Guaratiba, cuja relação com o corpo d'água confinado ainda não foi adequadamente avaliada (Cortez, 2014).

Modelagem realizada para caracterizar a circulação hidrodinâmica da Baía de Sepetiba, a partir da medição de correntes em quatro pontos, permitiu estimar a velocidade e direção das correntes em situação de sizígia e quadratura, com e sem influência de maré meteorológica, Figuras 61 e 62.

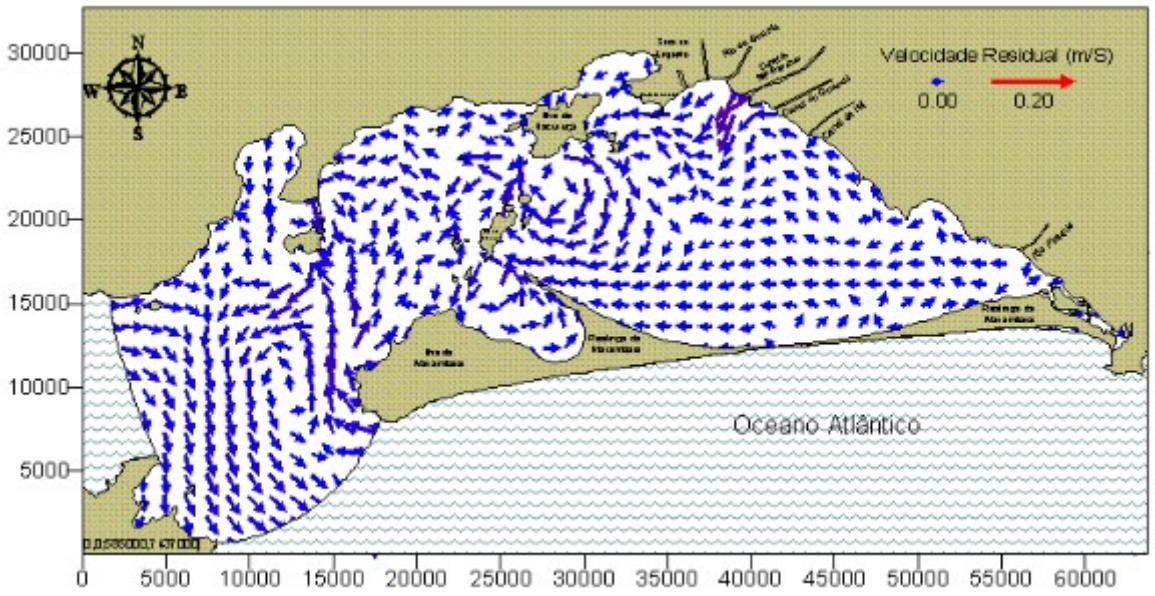


Figura 61. Campo de correntes residual no domínio da modelagem, considerando 24 horas, maré de sizígia e meteorológica, em 20/04/96. Fonte: Cunha; Rosman; Monteiro (2001).

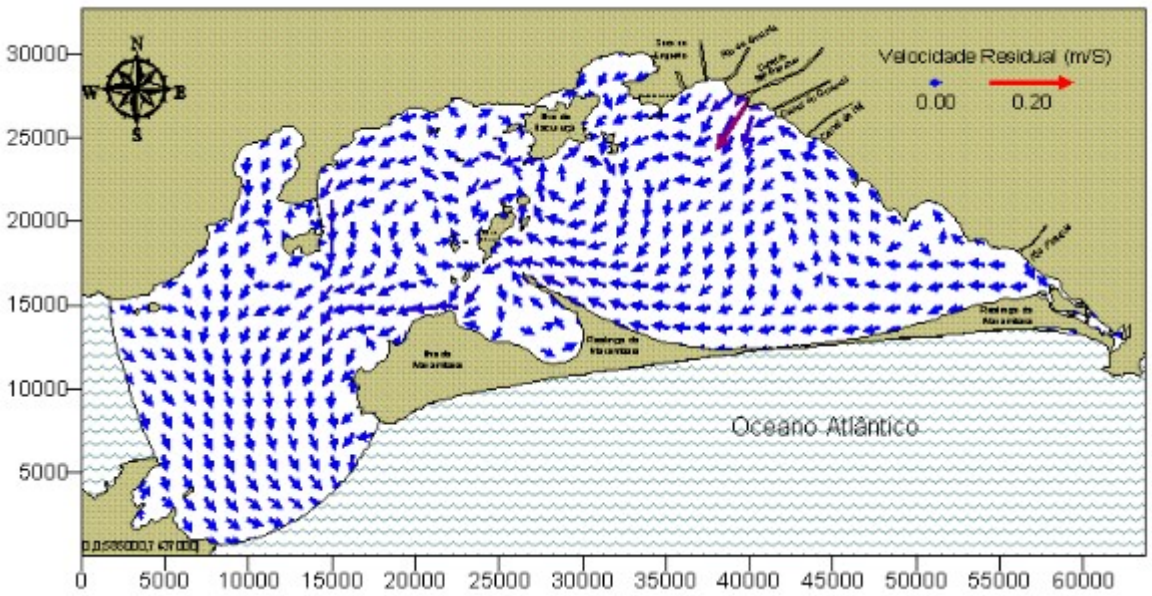


Figura 62. Campo de correntes residual no domínio da modelagem, considerando 24 horas, maré de quadratura e meteorológica, em 27/04/96. Fonte: Cunha; Rosman; Monteiro (2001).

Esclarecendo que a presença de sedimento arenoso na parte SE da baía foi creditada ao eventual transporte eólico do sedimento das dunas localizadas na restinga devido à ação das frentes frias (Pereira et al., 2003).

Ao passo que a presença de lama na porção S-SW da baía aparenta decorrer da circulação local que adentra pelo canal central, contorna a baía, passa pela área de deságue dos rios e retorna margeando a parte interna da restinga, na porção sul (Borges, 1998, citado por Pereira et al. (2003).

Quanto à origem do sedimento na região, os mais finos decorrem da drenagem continental, enquanto os grosseiros, como areia, possivelmente de três fontes: canais de Barra de Guaratiba, pouco representativos, boca da baía entre a Ilha Grande e a Ponta da Marambaia, além da eventual contribuição da Baía de Ilha Grande por meio dos canais presentes na interface entre as duas baías (Villena et al., 2012).

As fontes externas estão associadas à rede hidrográfica que deságua na porção norte/nordeste da baía, com papel destacado para o Rio Guandu pela maior contribuição (Suguio et al., 1979, citado por Villena et al., 2012).

Tal qual constatado na região entre a Ilha de Itacuruçá e o continente, onde o sedimento lamoso advém do aporte fluvial e, graças à baixa hidrodinâmica local e menor intensidade das correntes, possibilita a deposição dos finos (Pereira et al., 2003).

Simulações a respeito da circulação na Baía de Sepetiba e do comportamento das marés podem ser visualizadas na seção 4.2.4.2. Aspectos oceanográficos e sedimentológicos da Baía de Ilha Grande, resumindo informações de Rosman et al. (2018), uma vez que ambas as baías – Sepetiba e Ilha Grande – foram abordadas em conjunto no estudo realizado.

4.2.4. Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande

4.2.4.1. Principais características da Baía de Ilha Grande e bacia de drenagem

A Baía de Ilha Grande está localizada no Estado do Rio de Janeiro entre as coordenadas 22° 57’ e 23° 16’ sul e 44° 02’ e 44° 44’ oeste, na Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande, Figura 63.

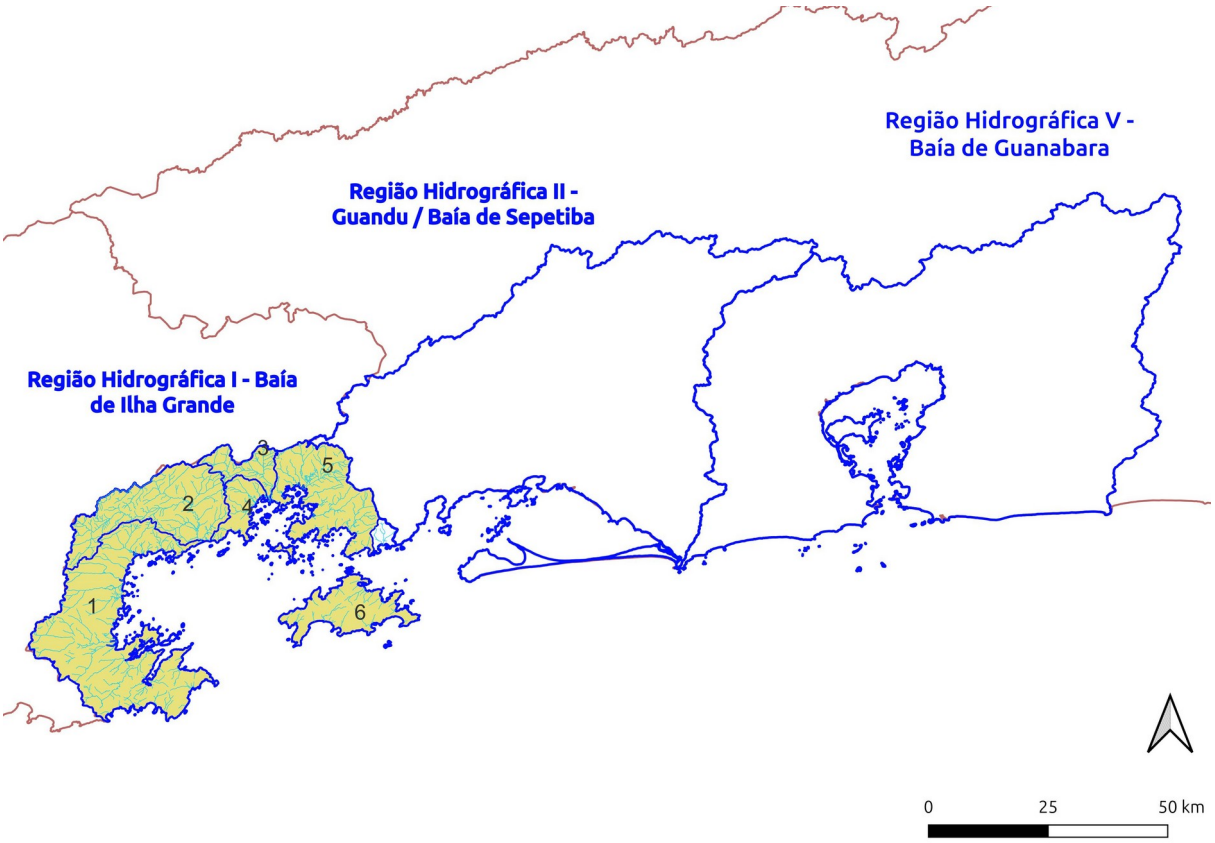


Figura 63. Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande, bacias hidrográficas e coleções hídricas assinaladas na cor azul-clara.

As dimensões da Baía de Ilha Grande variam de 30 quilômetros no sentido norte–sul a 65 quilômetros no sentido leste–oeste. Nesse território, a Ilha Grande, com área de 367 km^2, distingue-se tanto por conferir o nome como pelas dimensões que apresenta, Figuras 64 e 65.

A área terrestre da Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande (RH I - BG) é de 1.758,6 km^2 no estado do Rio de Janeiro, incluindo mais 515,7 km^2 drenados no estado vizinho de São Paulo, totalizando 2.274,3 km^2. Engloba integralmente dois municípios e parcialmente um terceiro, agrupando população fixa de pouco mais de

240.000 habitantes, com 91,7% dela urbanizada (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014c; PRH-BIG, 2018).

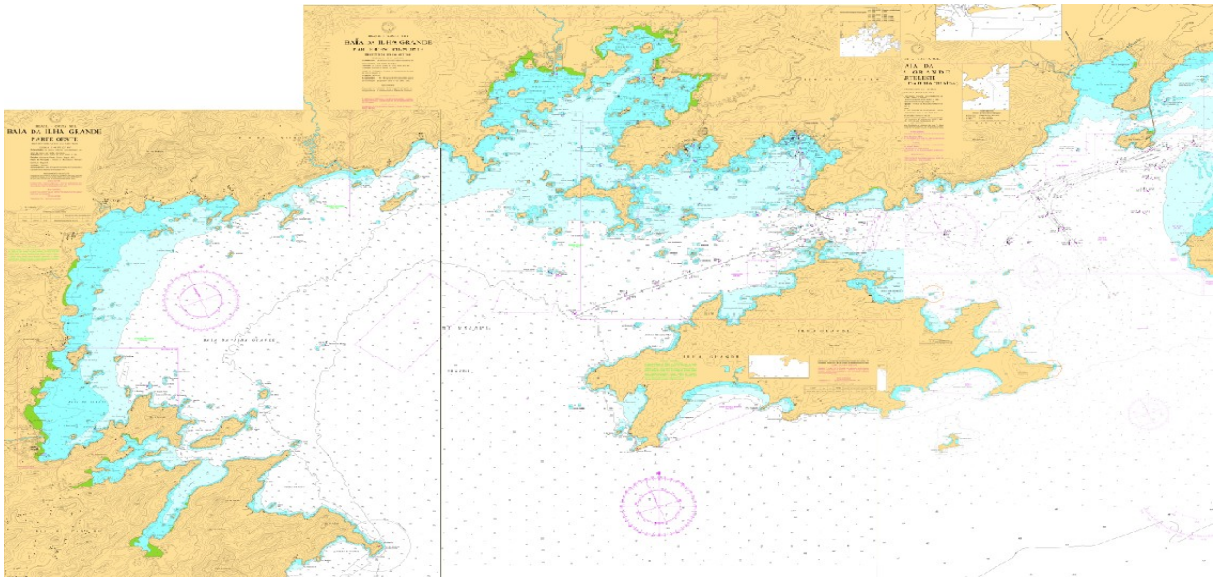


Figura 64. Mosaico das cartas náuticas 1620, 1621, 1625, 1631, 1632 e 1633 para visualização da Baía de Ilha Grande e principais ilhas. Fonte: (DHN, 2015).



Figura 65. Vista da Baía de Ilha Grande a partir do Google Earth.

A área marinha costeira que constitui a Baía de Ilha Grande apresenta superfície do espelho d'água de 1.525 km^2, enquanto as ilhas somam 203 km^2, totalizando 1.728 km^2 (PRH-BIG, 2018, 2019).

A Baía de Ilha Grande apresenta duas comunicações com o oceano: a leste, com 12 km, entre Ilha Grande e Morro da Marambaia, e a oeste, com 17 km, entre as pontas dos Meros e Joatinga. A profundidade varia entre 0 e 40 m, e o fundo é predominantemente coberto por areia fina, seguido por areia grossa, lama e substratos rochosos, Figura 64 (Inea, 2011).

O perímetro é de 757 km, com 401 km na área continental – 227 km em Paraty e 174 km em Angra dos Reis - e 336 km ao considerar as ilhas distribuídas no espelho d'água, Figura 64. O litoral apresenta elevada sinuosidade, além de ser recortado por dezenas de pontas intercaladas com enseadas, sacos e pequenas reentrâncias, onde podem ser encontrados costões rochosos e praias arenosas, além de pequenos manguezais nas barras dos rios, córregos e riachos (Inea, 2011; PRH-BIG, 2019).

O número de ilhas presentes nessa baía varia de acordo com a fonte consultada. Inea (2011) reporta serem 187 ilhas e ilhotas, dentre as quais se distinguem Grande (193 km^2), Jipóia (5,8 km^2), Algodão (3,2 km^2), Araújo (1,3 km^2) e Sandri (1,2 km^2), Figuras 64 e 65, seguido de Cunhambebe, Araraquara, Cedro, Meros, Jorge Grego, Paquetá, dos Porcos Grandes, Mantimento, Cairucú das Pedras e Macacos, com diversas delas em Unidades de Conservação da região. Já no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro (PERHI), são 251 ilhas (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a).

Das ilhas e ilhotas existentes, 63 delas estão inscritas no território da APA do Cairuçu, 53 na APA de Tamoios e 29 na Estação Ecológica de Tamoios. Com a ressalva de que algumas ilhas da ESEC de Tamoios são também englobadas pela APA de Cairuçu e APA de Tamoios (Inea, 2011).

Ainda que não tenha sido localizado inventário a respeito das praias da região, estima-se que existam mais de 200 praias com diferentes dimensões, características sedimentares e hidrodinâmicas na Baía de Ilha Grande (Inea, 2011; COPPETEC/Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a; PRH-BIG, 2019).

Com relação ao relevo, a Figura 66, a RH I distingue-se por contar com a

maior ocorrência de áreas íngremes, graças à presença de serras escarpadas. Cerca de 77% do território apresenta altitude acima de 400 m, onde estão as maiores amplitudes altimétricas. Em 23% da área, alternam-se formas intermediárias, com serras isoladas e de transição com altitude entre 200 e 400 m, morros variando entre 100 e 200 m, colinas de 20 a 100 m, além de planícies costeiras com altitudes inferiores a 20 m (Bastos; Napoleão, 2011; Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a).

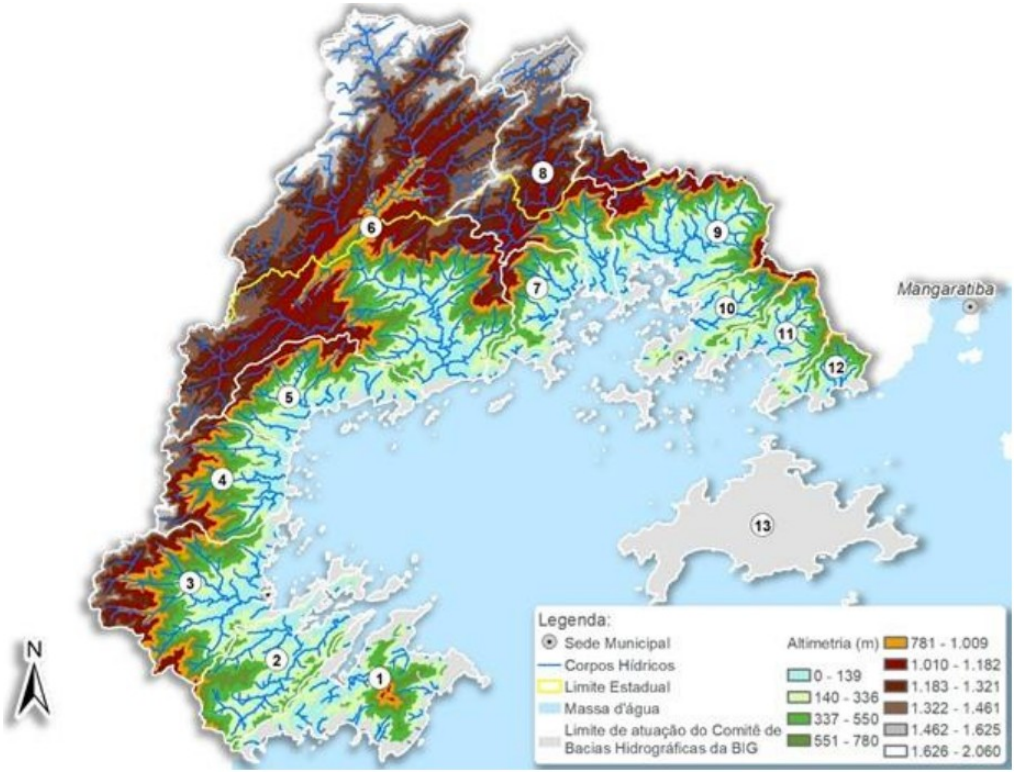


Figura 66. Modelo Digital de Elevação utilizado para representar o relevo da RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: PRH-BIG (2020a).

Os pontos mais elevados da RH estão no município de Paraty, destacando-se o Pico da Macela, terceiro ponto culminante do estado, com altitude de 1.840 m. Além de outros pontos com grande altitude responsáveis por conferir notáveis belezas cênicas em virtude da proximidade do mar (PRH-BIG, 2019).

Em decorrência do relevo, concentra a maior cobertura florestal do estado, correspondendo a 90% do território, e apresenta diversas Unidades de Conservação de Proteção Integral - Parque Nacional da Bocaina, Parque Estadual do

Cunhambebe, ESEC Tamoios, Reserva de Juatinga. Bem como UCs para Uso Sustentável, como a APA Cairuçu e APA Tamoios, entre outras municipais (PRH-BIG, 2019).

Outro aspecto distintivo da RH I, refere-se sua área de drenagem que não está restrita somente ao estado do Rio de Janeiro. No vizinho estado de São Paulo nascem os rios Mambucaba, Bracuí e Ariró, cujas bacias têm, respectivamente, 52%, 55% e 39% da área no vizinho estado e deságuam na Baía de Ilha Grande, Figuras 67 e 68.

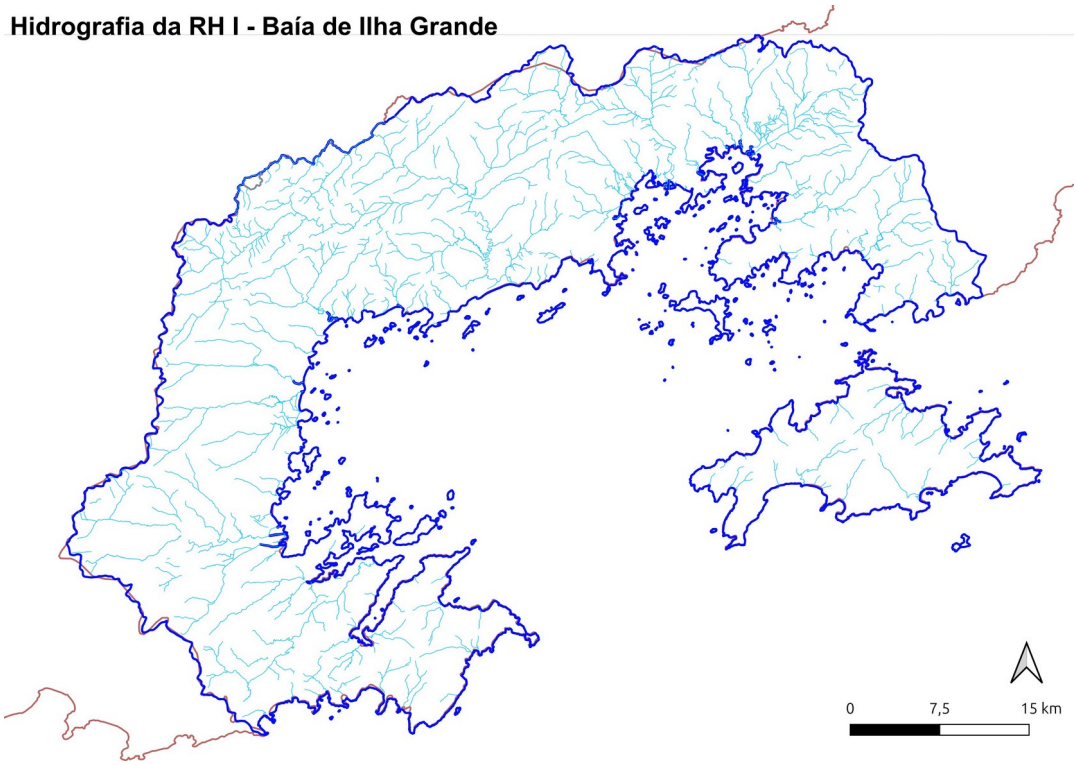


Figura 67. Hidrografia da Região Hidrográfica I - Baía de Ilha. Fonte: AGEVAP (2020).

Os corpos d'água da RH I BIG contam com condições físicas, hidrológicas, hídricas, com relação à quantidade e qualidade da água, e biológicas determinadas pela diversidade e dinâmica geomorfológica e climática determinada pela Serra do Mar e Serra da Bocaina.

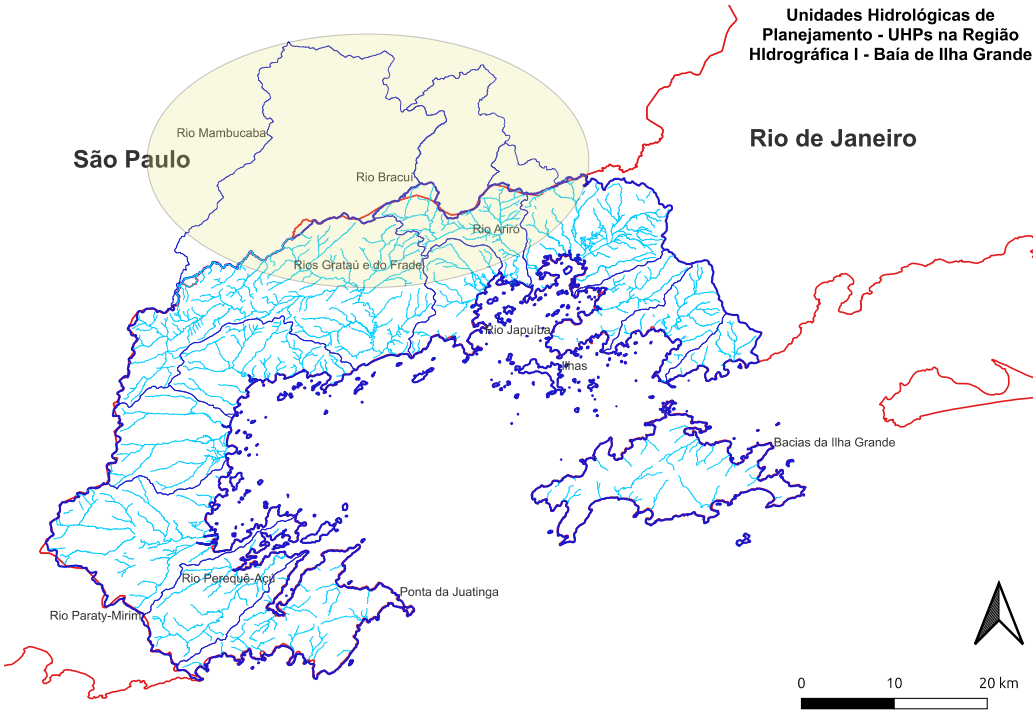


Figura 68. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP) da Região Hidrográfica I - Baía de Ilha Grande (BIG). No interior do círculo, a área drenada do estado de São Paulo pelas bacias hidrográficas do rio Mambucaba, Bracuí e Ariró. Fonte: Inea (s/d).

As cabeceiras dos rios das bacias estão em altitudes superiores a 1.000 m. Os cursos dos rios são curtos, com exceção do Rio Mambucaba, com extensão pouco maior que 60 km, e todos deságuam na Baía de Ilha Grande (PRH-BIG, 2019).

Com o intuito de dispor de territórios menores e homogêneos, a RH I – Baía de Ilha Grande foi compartimentada em 14 Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs), cujos nomes, na maior parte das situações, adotam a denominação do principal curso d'água, Figura 69 e Quadro 22.

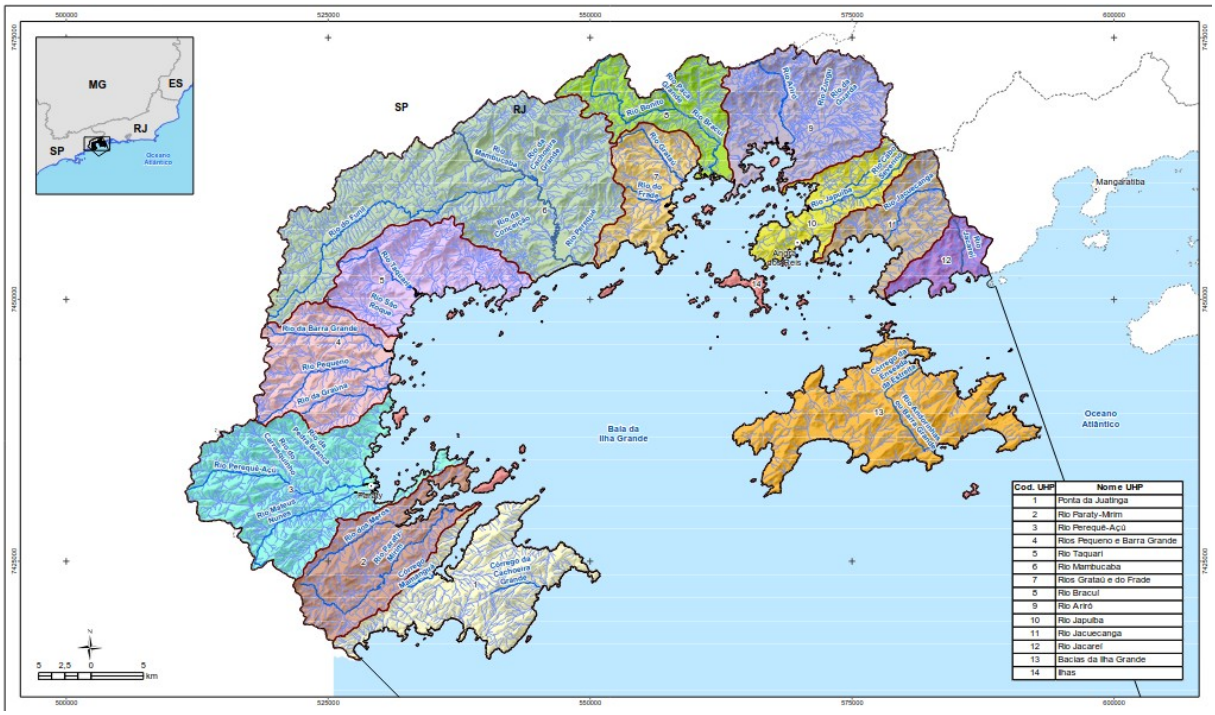


Figura 69. Bacias hidrográficas do Rio de Janeiro e contribuições de São Paulo na Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande. Fonte: AGEVAP (2020).

Quadro 22. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) da Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande – BIG, área, estado drenado e vazão média (L/S) Q50. Fonte: PRH-BIG (2019).

UHP		Área da UHP (km²)			Vazão média de referência (L/s) – Q50	Contribuição %
Cód.	Nome	Estado do RJ	Estado de SP	Total		
1	Ponta da Juatinga	144,85	0	144,85	4.432,39	6,06%
2	Rio Paraty-Mirim	119,74	0	119,74	5.730,36	7,84%
3	Rio Perequê-Açú	201,59	0	201,59	6.348,88	8,68%
4	Rios Pequeno e Barra Grande	121,80	0	121,80	8.371,22	11,45%
5	Rio Taquari	114,37	0	114,37	7.573,29	10,36%
6	Rio Mambucaba	359,00	388,10	747,10	10.475,72	14,32%
7	Rios Grataú e do Frade	76,26	0	76,26	5.496,18	7,51%
8	Rio Bracuí	91,03	111,79	202,82	2.937,10	4,02%
9	Rio Ariró	153,14	24,76	177,90	10.123,47	13,84%
10	Rio Japuíba	68,25	0	68,25	2.418,71	3,31%
11	Rio Jacuecanga	67,59	0	67,59	2.373,96	3,25%
12	Rio Jacareí	35,72	0	35,72	900,30	1,23%
13	Bacias da Ilha Grande	180,19	0	180,19	5.954,58	8,14%
14	Ilhas	24,29	0	24,29	-	-
	Total	**1.757,81**	**524,65**	**2.282,46**	**73.136,16**	**100,00%**

4.2.4.2. Aspectos oceanográficos e sedimentológicos

Com relação à baía e espelho d'água, a profundidade varia de poucos centímetros a pouco mais de 50 metros de profundidade, Figuras 64 e 70.

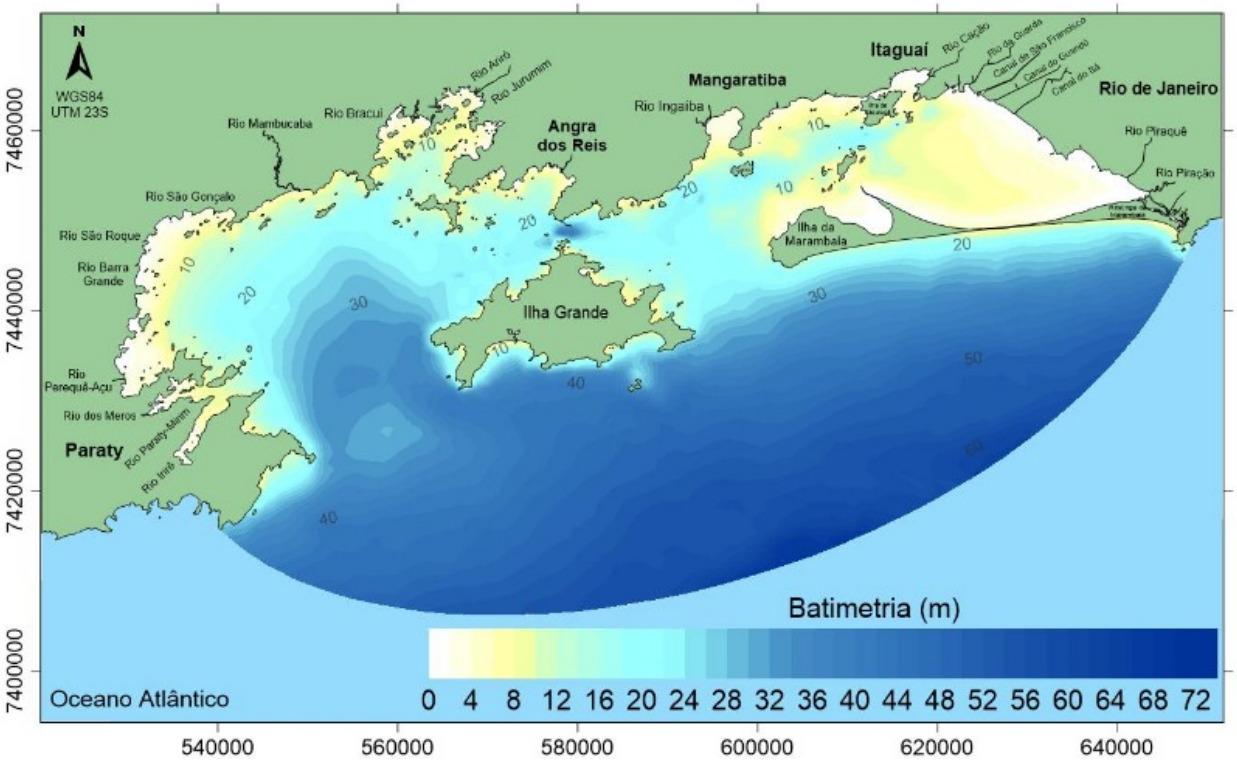


Figura 70. Batimetria das baías de Ilha Grande e Sepetiba. Fonte: Rosman et al. (2018).

No que respeita às características oceanográficas e hidrodinâmicas da Baía de Ilha Grande, as primeiras referências à circulação decorrem de trabalhos realizados por Tommasi (1969), Tommasi et al. (1972), Hidrolev (1973), Matsuura (1975), Ponçano (1976), Miranda et al. (1977), Ikeda (1977), Ikeda e Stevenson (1980, 1982), Signorini (1980a,1980b), Encal (1981), Ikeda et al. (1989), Cepuerj (1992), Costa (1998), Muehe & Valentini (1998), Natrontec (1998), citados por Mahiques (1987).

Com a ressalva de que os diversos estudos oceanográficos realizados na Baía de Ilha Grande se deram por meio de campanhas diferenciadas no tempo e no espaço, dificultando a integração dos resultados obtidos.

A circulação da água na Baía de Ilha Grande não pode ser desvinculada da

circulação da Baía de Sepetiba e caracteriza-as como ambientes estuarinos parcialmente misturados, graças à água doce proveniente da drenagem continental e água salina por meio das duas barras junto à Ilha Grande: barra leste e barra oeste (Signorini, 1980).

E, em ambas, a circulação decorre de processos hidrodinâmicos, tidais, ou relacionados às marés, e não tidais, como ventos e diferenças de densidade das águas. A corrente de fundo assume papel importante ao penetrar pela parte profunda da porção oeste sob ação das marés, circular entre a Ilha Grande e continente, misturar-se com águas menos salinas provenientes da Baía de Sepetiba e deslocar-se para o oceano pela barra leste com fluxo no sentido horário e velocidade próxima a 10 cm/s atribuídas, principalmente, à diferença de densidade, resultando em movimento quase constante em torno da Ilha Grande (Signorini, 1980).

O fluxo de densidade é modulado por ondas de oscilações com volume estimado de transporte de 16.570 m^3/s para leste, muito maior que os 1.200 m^3/s decorrentes da deriva dos ventos e os 7.000 m^3/s associados à ação das marés (CEPUERJ, 1992, citados por IBAMA/MMA, 2006).

A circulação de fundo na Baía de Ilha Grande é significativa e flui predominantemente da barra oeste para a barra leste, em ciclo horário, com variações sazonais, Figura 71. Na camada até 10 m, a água que entra pela barra oeste flui para o centro da Baía de Ilha Grande, enquanto a água que adentra pela barra leste segue em direção ao banco arenoso da Marambaia (Ikeda; Stevenson, 1980).

Com relação à circulação induzida pelo vento, simulações demonstraram que, em situações com vento leste-nordeste e velocidade de 5 m/s – predominante quando da ausência de sistemas frontais na região –, a circulação passa a ser no sentido anti-horário da barra leste para oeste, passando pelo canal central. E, em sentido contrário, Oeste, para Leste, na presença de vento de direção oeste–sudoeste, decorrente da chegada de sistemas frontais na área (Signorini, 1980).

Nessa situação, águas com maior salinidade entram pela porção oeste da

baía, propagam-se pelo canal central e misturam-se com a água salobra da Baía de Sepetiba, na porção leste, escoando-se para o oceano em seguida.

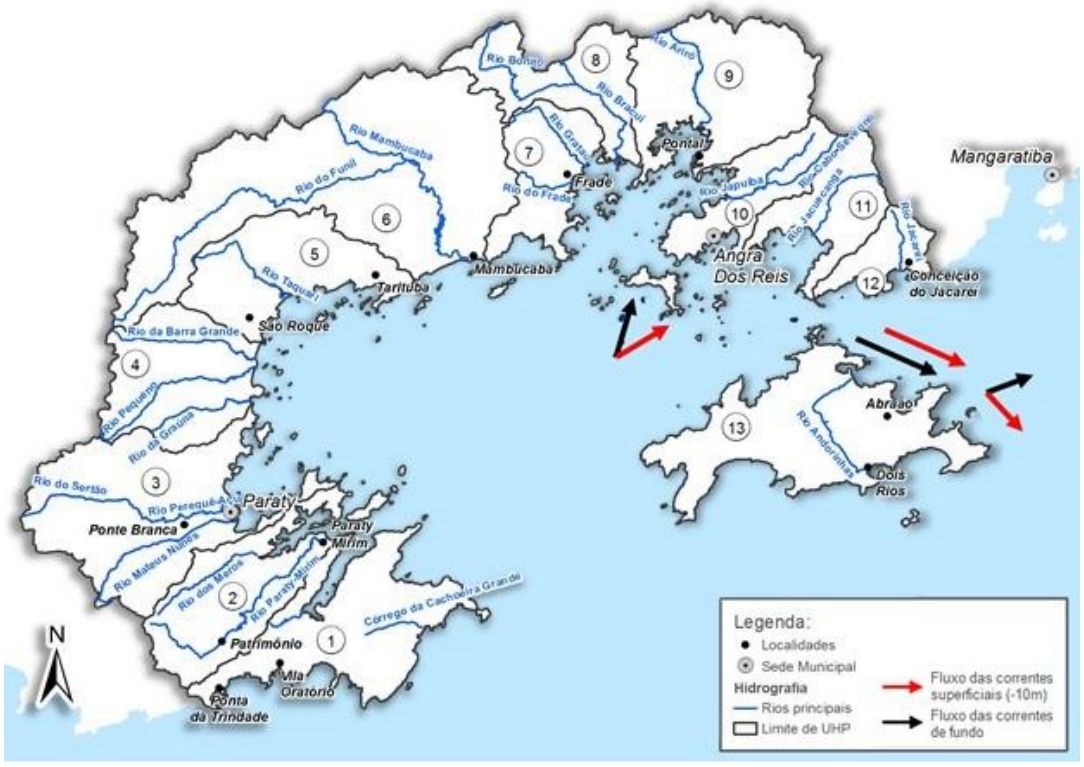


Figura 71. Estimativa da direção predominante das correntes superficiais e de fundo observadas em três estações maregráficas na Baía de Ilha Grande. Fonte: adaptado de Ikeda; Stevenson (1980) por PRH-BIG (2020a).

Já a circulação costeira oscilou entre o verão, no sentido E-W, e no inverno, W-E, com destaque para os meses frios, quando ocorre maior movimento turbulento responsável por maior estratificação de densidade ocasionada pela entrada de águas oceânicas na barra oeste (CEPUERJ, 1992, citados por IBAMA/MMA, 2006).

As variações sazonais nos parâmetros termohalinos da Baía da Ilha Grande foram compreendidas por meio dos estudos realizados. Enquanto o conhecimento do comportamento da coluna d'água possibilita demonstrar que se mostra mais estável em fevereiro, as inversões de densidade com a profundidade geralmente ocorrem no inverno, indicando mistura na coluna d'água.

A Temperatura Superficial do Mar (TSM) é mais alta durante o verão (24,4 °C a 28,4 °C), resultado da irradiação solar mais intensa sobre o espelho d'água. A

estrutura vertical das águas da baía se caracteriza por uma camada de mistura superficial de 0 m a 15 m de profundidade, gerando estratificação por densidade em duas camadas, que cria as condições de estabilidade citadas.

Enquanto que no inverno, a TSM varia de 24 °C a 26 °C (Ikeda; Stevenson, 1982).

Já as camadas de água de fundo, levantamentos realizados na região constataram que apresentaram temperaturas mais baixas durante o verão, fato associado às intrusões sazonais da ACAS em subsuperfície sobre a Plataforma Continental Sudeste Brasileira, constituindo termoclina estável que frequentemente atinge isóbatas mais rasas (Creed; Casares; Oliveira, 2007).

Os resultados possibilitaram concluir que a circulação na Baía de Ilha Grande, no setor oeste, foi compreendida. Mas, no setor leste, junto à Baía de Sepetiba, há carência de informações e conhecimento dos aspectos físicos atuantes na região. Tais lacunas impossibilitam melhor descrição do movimento das águas oriundas das duas baías que fluem para o oceano pela barra Leste (Miranda et al., 1977; Signorini, 1980; IBAMA/MMA, 2006).

Tendo em conta essas informações e buscando refinar os resultados obtidos por Signorini (1980), foram realizadas simulações para a circulação da água induzida pela ação de ventos e correntes de leste nas baías de Ilha Grande e Sepetiba (Rosman et al., 2018).

O detalhamento dos eventos que ocorrem no verão, quando a predominância é de ventos da direção leste, é apresentado na Figura 72 (a, b, c e d). Bem como no inverno, com ventos predominantes da direção sudoeste, Figura 73 (a, b, c e d).

Como resultado, e de acordo com os autores citados, a troca de água entre as duas baías - Ilha Grande e Sepetiba – é pequena, decorre das correntes de marés e contribui para que se comportem como corpos d’água hidrodinamicamente independentes.

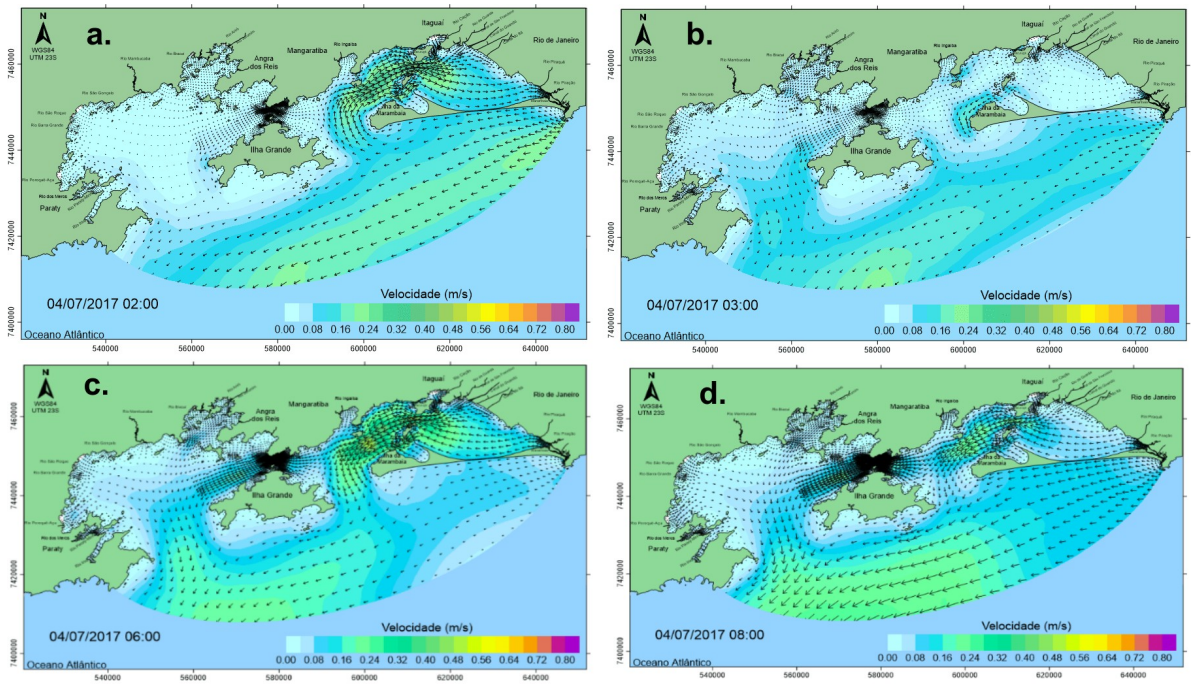


Figura 72. Simulação do comportamento da corrente superficial com vento leste, no dia 04/07/17, em diferentes horários: a. 02:00, b. 03:00, c. 06:00 e d. 08:00. Fonte: Rosman et al. (2018).

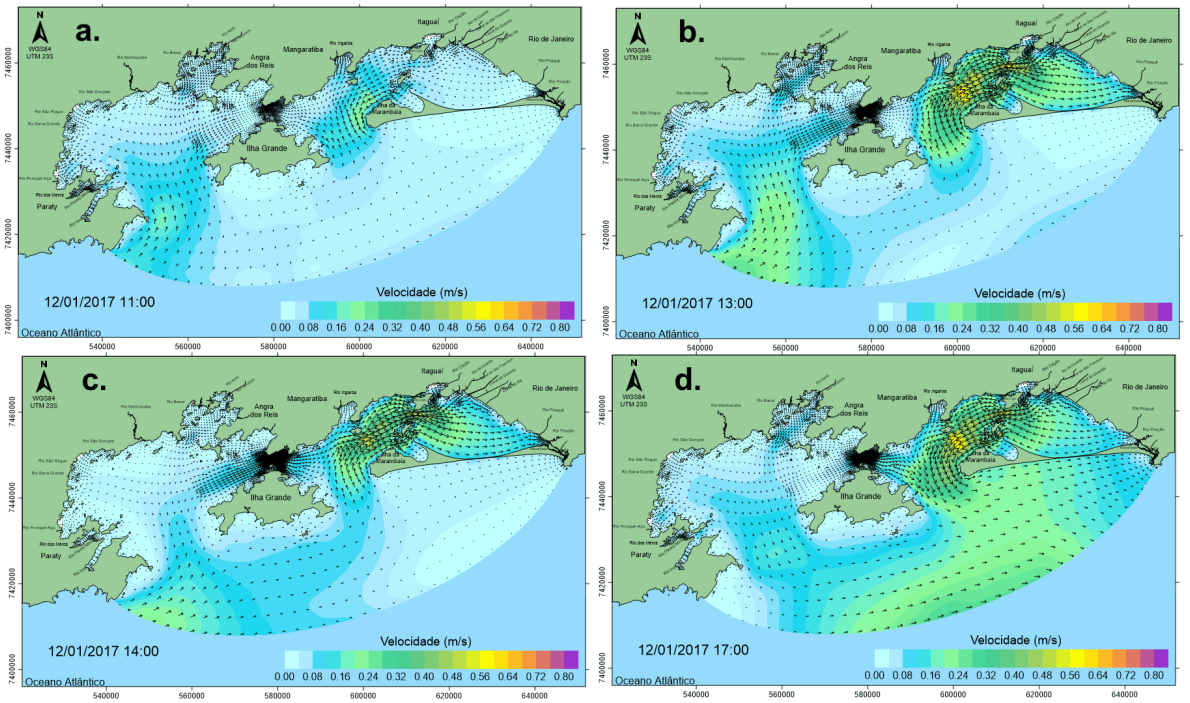


Figura 73. Simulação do comportamento da corrente superficial com vento leste, no dia 12/01/17, em diferentes horários: a. 11:00, b. 13:00, c. 14:00 e d. 17:00. Fonte: Rosman et al. (2018).

Com relação às marés astronômicas, a Baía de Ilha Grande apresenta marés do tipo semidiurna, característica da costa sudeste do Brasil, com duas preamares (marés altas) e duas baixa-mares (marés baixas), com alturas diferentes por dia lunar. Os níveis da água associados podem variar de -0,1 m a 1,3 m, nas marés baixas e altas, respectivamente, de sizígia, durante as luas novas e cheias (CHM/DHN/MM, 2022).

Os níveis de água associados às marés astronômicas, determinados principalmente pela posição do Sol e da Lua, são influenciados pelos ventos, chuva e pressão atmosférica, dentre outras condicionantes, alterando para mais ou para menos os níveis relativos do mar, em fenômeno denominado de maré meteorológica.

A influência da maré meteorológica na diminuição ou aumento do nível relativo do mar pode ser visualizada nas Figuras 74 e 75, obtidas por meio da modelagem da Baía de Ilha Grande nos meses de janeiro e julho de 2017.

Ao considerar o relevo do fundo, a Baía da Ilha Grande, constitui unidade fisiográfica com características batimétricas particulares, com a fisiografia do fundo moldada a partir do máximo regressivo do Pleistoceno Superior, há 18.000 anos AP (Mahiques, 1987).

Caracteriza-se como um corpo d’água marinho semiconfinado pela presença da Ilha Grande, que possibilita segregá-la em três setores distintos: Leste, conjugando-se à Baía de Sepetiba e delimitada por uma barra entre a Ponta dos Castelhanos, na Ilha Grande, e Ponta Grossa da Marambaia, na restinga de mesmo nome, com 12,6 km, Figura 76. Oeste, delimitada pela barra situada entre a Ponta dos Meros, Ilha Grande, e a Ponta de Juatinga, no continente, com 17,7 km (IBAMA/MMA, 2006; Mahiques, 1987).

E o Canal Central, situado entre a Ilha Grande e o continente, na posição NE-SW, com feição estreita e alongada, com profundidades médias de 25 metros, podendo atingir pouco mais de 50 na porção mais estreita da região, que se bifurca ao encontrar-se com o canal de acesso à Baía de Sepetiba, Figuras 76, 77 e 78 (IBAMA/MMA, 2006; Mahiques, 1987).

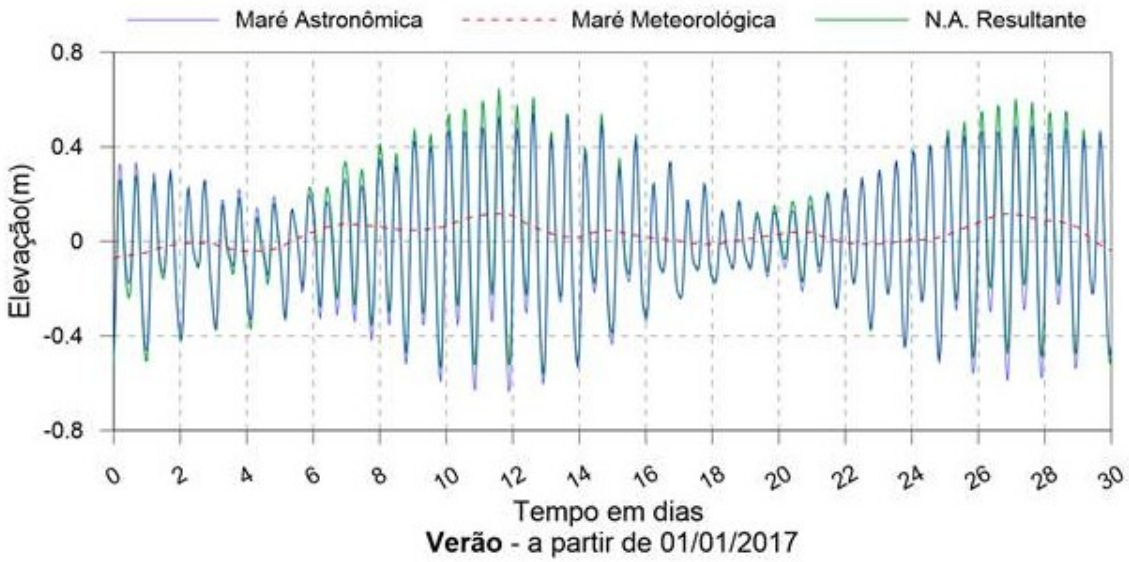


Figura 74. Representação do resultado da modelagem para o comportamento da maré na Baía de Ilha Grande, no mês de janeiro de 2017. Fonte: Rosman et al. (2018).

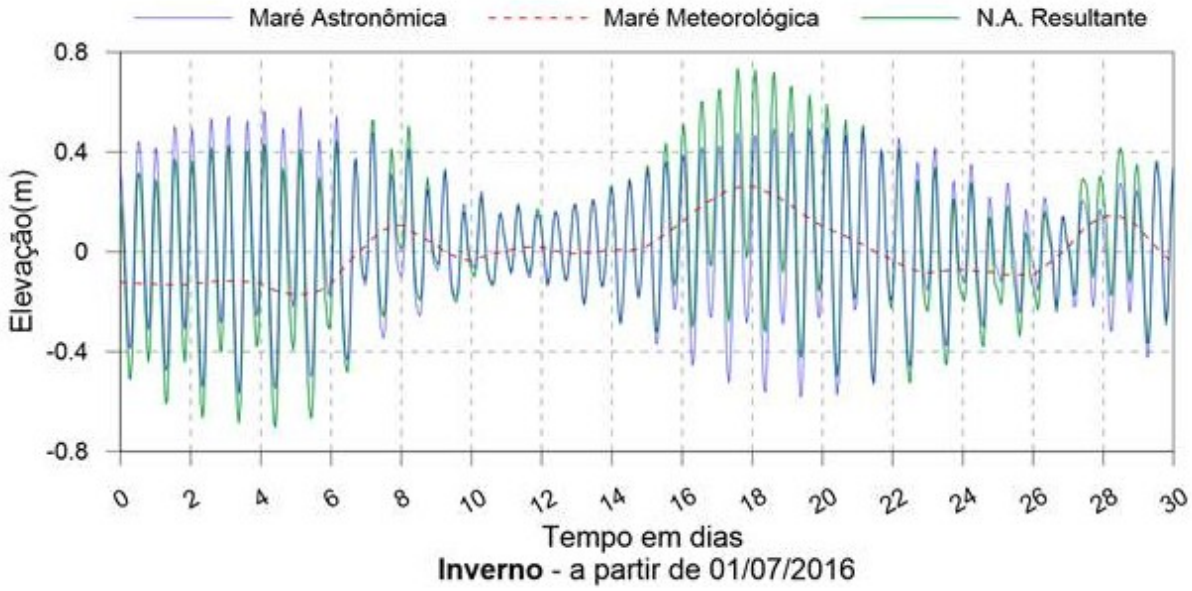


Figura 75. Representação do resultado da modelagem para o comportamento da maré na Baía de Ilha Grande, no mês de julho de 2017. Fonte: Rosman et al. (2018).

No setor leste, o fundo apresenta maior regularidade na profundidade, que varia entre 10 e 20 m, chegando a 26 m na barra leste. Na porção oeste da baía

encontram-se as menores profundidades, inferiores a 10 m, nas proximidades da costa, enseadas de Parati e embaiamento da Ribeira. Ao avançar em direção ao oceano, a profundidade passa a variar entre 20 e 30 metros, aumentando gradativamente até 34 metros, na barra oeste, Figura 70.

Além dos canais naturais, ocorrem dois canais artificiais abertos e mantidos por meio de dragagem: o canal de acesso ao TEBIG/PETROBRAS, no lado oeste, de orientação NE-SW, com profundidade média de 25 m, e o canal do estaleiro Verolme, antiga BrasFELS, localizado na Baía de Jacuecanga e Monsuaba, a cerca de 12 km do centro da cidade de Angra dos Reis, Figuras 77 e 78, possibilitando o acesso de embarcações com grande calado, geralmente cargueiros e petroleiros (IBAMA/MMA, 2006; Inea, 2015).



Figura 76. Compartimentação fisiográfica da Baía de Ilha Grande. Fonte: Mahiques (1987).

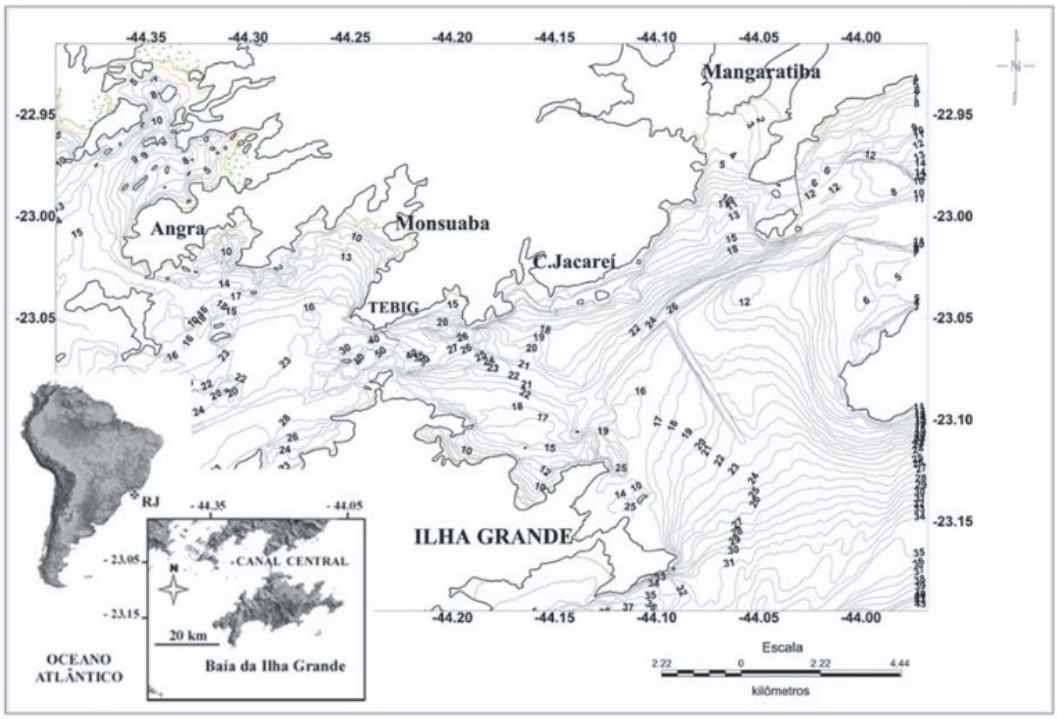


Figura 77. Batimetria da região do Canal Central da Baía de Ilha Grande. Fonte: (Belo, 2002).

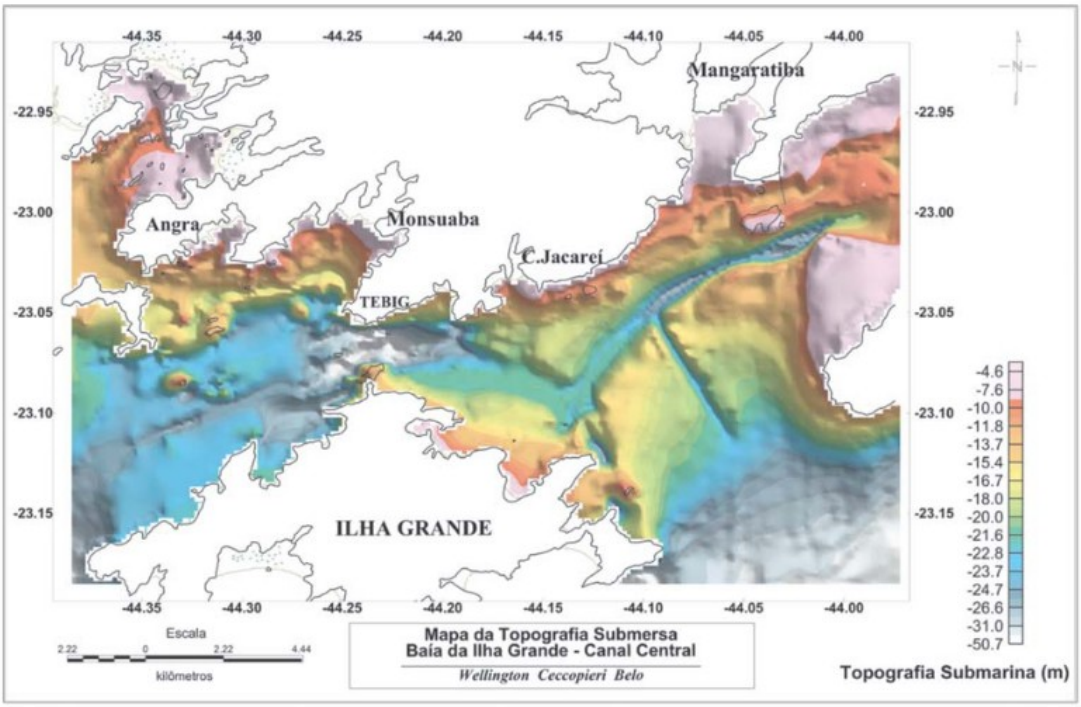


Figura 78. Batimetria digital da região do Canal Central da Baía de Ilha Grande com células de 45 m e intervalo de contorno de 3 m. Fonte: Reprocessamento digital de Dias et al. (1990), citados por Belo; Dias; Dias (2002).

A fisiografia do fundo da baía não é homogeneamente distribuída e apresenta algumas características notáveis, como registros de paleocanais escavados por rios ao longo da última Regressão Holocênica. Cerca de 95% de sua área apresenta profundidades menores que 35 metros, com predominância da faixa entre 0 a 20 metros (IBAMA/MMA, 2006; Inea, 2011).

O sedimento superficial do fundo apresenta relação com os três setores pré-definidos e pode ser agrupado em três grupos distintos:

- setor leste - areias médias e grossas essencialmente quartzosas, nas quais se constata a presença de foraminíferos e moluscos preenchidos por limonita, texturalmente imaturos, com baixo índice de arredondamento e características superficiais de retrabalhamento incipiente, podendo ser caracterizados como relíquias depositadas, possivelmente, ao longo do evento regressivo do Pleistoceno Superior, Figura 79;
- Canal Central - coberto predominantemente por sedimento pelítico – argila e silte, com pequenas quantidades de areia, Figura 79, e condições redutoras resultantes da baixa movimentação do fundo - depositados pela decantação de partículas quando do encontro de frentes de marés; e
- setor oeste – sedimento constituído predominantemente por areia muito fina e quantidade variável de material pelítico, como silte grosso, médio e fino, com características semelhantes às encontradas nas áreas abrigadas, como Enseada de Paraty e Baía da Ribeira, porém com a deposição decorrente da baixa hidrodinâmica local, com características texturais e mineralógicas de sedimento imaturo indicadoras de baixo retrabalhamento e predominância de condições de baixa energia na área. Figura 79, de acordo com Mahiques (1987).

No setor oeste, a composição estrutural e composicional é semelhante ao sedimento da plataforma continental interna adjacente. Podendo indicar que a areia muito fina pode ter sido transportada para o interior da baía ao longo do evento

transgressivo holocênico, agregando argila e silte (Mahiques, 1987).

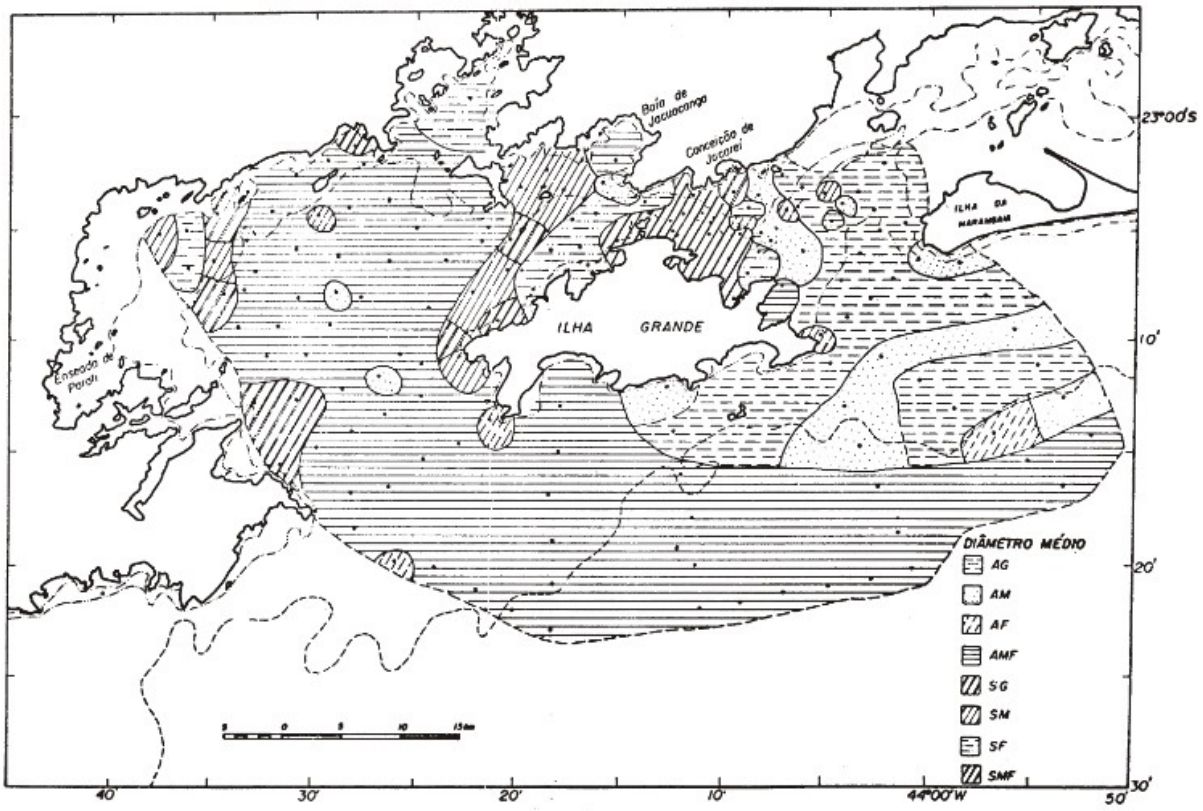


Figura 79. Distribuição do sedimento segundo o diâmetro médio das partículas (Folk & Ward, 1967). Fonte: Mahiques (1987).

A presença de frações arenosas mais grosseiras próximas à costa continental, principalmente na Baía de Jacuacanga e Conceição de Jacareí, pode estar relacionada a contribuições localizadas e refletir movimentos gravitacionais causados por águas pluviais, eventualmente intensificados por processos antrópicos (Mahiques, 1987).

A origem do sedimento presente na Baía de Ilha Grande é de natureza diversa, com maior contribuição do intemperismo de rochas metamórficas de alto grau do Complexo Costeiro, expostas nas áreas emersas adjacentes. Com menor importância, provenientes dos diques de rochas básicas e corpos pegmatíticos, além de sedimento da plataforma continental, contribuindo como rochas fonte do sedimento dessa região (Mahiques, 1987).

Constatou-se, com a análise e interpretação das amostras coletadas, que o

sedimento da barra oeste e da barra leste têm características muito diferenciadas e não decorrem de um único processo. Além de não ocorrer troca de material sedimentar entre as duas áreas (Mahiques, 1987).

A rugosidade do fundo da Baía de Ilha Grande, Figura 80, corrobora as afirmações acima e permite visualizar a alteração do substrato de acordo com a granulometria do sedimento, desde areia grossa até silte e argila, depositado nos setores nordeste, norte e noroeste, principalmente.

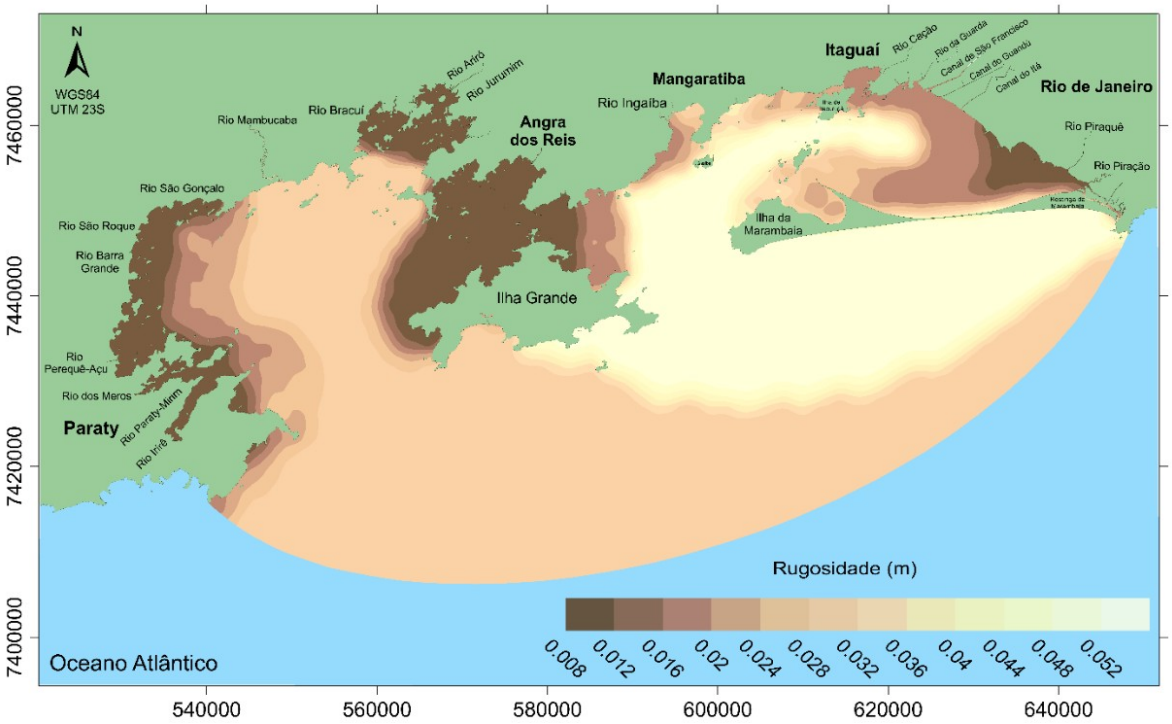


Figura 80. Amplitude da rugosidade equivalente de fundo da Baía de Ilha Grande e Sepetiba utilizada no domínio de modelagem. Fonte: Rosman et al. (2018).

4.3. Atividades antropogênicas e qualidade ambiental nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande

A presente seção aborda a ocupação e atividades humanas na região de estudo a partir das principais referências históricas, distribuição da população atual nos municípios e Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP), densidade populacional, cobertura e uso da terra, citando as principais atividades realizadas na área urbana, incluindo as regiões com habitações subnormais, cobertura de saneamento básico – rede pública de coleta de esgotos, resíduos sólidos e drenagem urbana – e rural por meio de atividades agrícolas e pecuárias, mineração, atividades industriais, dentre outras, presentes na área emersa. E as atividades pesqueiras, de maricultura, quando existentes, navegação e infraestrutura de apoio, como portos, terminais, estaleiros, marinas e garagens náuticas, dentre outras atividades correlatas realizadas no espelho d'água e substrato das baías consideradas. E conclui apresentando indicadores de qualidade ambiental relacionados às áreas contaminadas e passivos ambientais, além do estado de qualidade das águas superficiais a partir de informações geradas pelos programas de monitoramento da qualidade da água nas coleções hídricas de cada Região Hidrográfica.

4.3.1. Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara

4.3.1.1. Histórico da ocupação e características populacionais

A fundação da cidade do Rio de Janeiro, em 1565, e, em seguida, a ocupação das regiões vizinhas mediante desmatamento e aumento da população teve, como um dos objetivos, a ampliação do cultivo de cana-de-açúcar. Ações viabilizadas, em grande parte, graças à rede hídrica que viabilizou a ocupação e escoamento das safras (Alencar, 2021).

Com o ciclo da mineração no século XVIII, o escoamento de parte da produção se dava por meio do Porto do Rio de Janeiro e, para assegurar espaço para ampliação da área urbana, brejos, lagunas e porções do espelho d'água da

Baía de Guanabara foram aterrados (Alencar, 2021).

No século XIX, significativas áreas da Baía de Guanabara já se encontravam profundamente alteradas, ao mesmo tempo em que o desmatamento das cercanias ampliava-se, avançando pelas encostas e para o interior (Alencar, 2021).

Mas é no século XX e, principalmente, entre 1930 e 1990, que ocorrem as mais significativas alterações. A mudança da economia rural para o modelo urbano-industrial estimulou o êxodo rural, concentrando a população em áreas urbanas. E, concomitantemente, ocorreram grandes aterros, implantação de infraestrutura urbana e expansão do parque industrial nas planícies e margens dos rios situados nas imediações das águas da baía, a constituir atrativo para a vinda de mais pessoas em busca de trabalho e melhores condições de vida, como indutores a configurar o quadro social e econômico presente (Alencar, 2021).

Na atualidade, a Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara abarca área aproximada de 4.800 km^2, engloba parcial ou completamente 17 municípios e reúne a maior parte da população do estado – 42.840 habitantes em áreas rurais e 10.143.250, representando 99,6%, em áreas urbanas - totalizando 10.186.000 habitantes. Destaca-se como um dos ambientes mais poluídos do litoral brasileiro, tanto pelo lançamento de carga orgânica sem tratamento como por efluentes industriais (Coimbra et al., 2021; Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015).

No que respeita aos aspectos populacionais, a RH V caracteriza-se como o principal foco de ocupação e crescimento urbano do estado, considerando a capital, Rio de Janeiro, e Região Metropolitana adjacente, às quais se conectam vetores de expansão para as RHs limítrofes. Congrega a maior parte da população urbana, incluindo aquela em aglomerados subnormais do estado, Quadro 23 e 24, Figura 82.

A população residente e distribuída pelas Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs) e área de drenagem dos cursos d’água afluentes para a Baía de Guanabara é apresentada no Quadro 24.

Quadro 23. Evolução (1980–2019) e população residente na Região Hidrográfica - RH V - Baía de Guanabara. Fonte: IBGE (1980, 1991, 2000 e 2010); Censo Demográfico, IBGE (2019 – estimativa da população); citados por AGEVAP/CBH-BG (2020a).

Município	População (habitantes)					Pop. Interna a RH-V 2019		Participação pop. RH-V 2019 (%)
	1980	1991	2000	2010	2019*	(%)	(hab)	
Belford Roxo	-	-	434.474	469.332	510.906	100,00%	**510.906**	**4,69%**
Cachoeira do Macacu	35.871	40.208	48.543	54.273	58.937	99,74%	**58.784**	**0,54%**
Duque de Caxias	575.830	667.821	775.456	855.048	919.596	99,98%	**919.412**	**8,44%**
Itaboraí	-	-	37.952	51.483	60.517	100,00%	**60.517**	**0,56%**
Guapimirim	114.542	162.742	187.479	218.008	240.592	100,00%	**240.592**	**2,21%**
Magé	166.603	191.734	205.830	227.322	245.071	98,77%	**242.057**	**2,22%**
Maricá	32.618	46.545	76.737	127.461	161.207	99,22%	**159.950**	**1,47%**
Mesquita	-	-	-	168.376	176.103	100,00%	**176.103**	**1,62%**
Nilópolis	151.585	158.092	153.712	157.425	162.485	100,00%	**162.485**	**1,49%**
Niterói	397.135	436.155	459.451	487.562	513.584	99,61%	**511.581**	**4,69%**
Nova Iguaçu	1.094.789	1.297.704	920.599	796.257	821.128	75,20%	**617.488**	**5,67%**
Petrópolis	242.017	255.468	286.537	295.917	306.191	14,04%	**42.989**	**0,39%**
Rio Bonito	40.038	45.161	49.691	55.551	60.201	73,69%	**44.362**	**0,41%**
Rio de Janeiro	5.090.723	5.480.768	5.857.904	6.320.446	6.718.903	82,74%	**5.559.220**	**51,01%**
São Gonçalo	615.351	779.832	891.119	999.728	1.084.839	99,95%	**1.084.297**	**9,95%**
São João de Meriti	398.819	425.772	449.476	458.673	472.406	100,00%	**472.406**	**4,34%**
Tanguá	-	-	26.057	30.732	34.309	100,00%	**34.309**	**0,31%**
Total	**8.955.921**	**9.988.002**	**10.861.017**	**11.773.594**	**12.546.975**	**86,71%**	**10.897.458**	**100,00%**

Quadro 24. População agrupada por Unidade Hidrológica de Planejamento (UHP) na área de drenagem de rios afluentes à RH V - Baía de Guanabara e, no recorte, das UHPs drenantes exclusivamente para a Baía de Guanabara. Fonte: IBGE (2010), citado por CBH-BG/AGEVAP (2020).

UHP		População (2010)	Participação na população da RH-V	População em rios afluentes à Baía de Guanabara	
				hab.	%
V-a	**Rios Iguaçu e Saracuruna**	**2.846.016**	**27,90%**	**8.721.624**	**85,43%**
V-c1	**Rios Pavuna-Meriti, Faria-Timbó e Maracanã, Ilha do Governador e Ilha do F**	**3.990.299**	**39,10%**		
V-d1	**Rio Macacu**	**61.718**	**0,60%**		
V-d2	**Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá**	**1.823.591**	**17,90%**		
V-b	Lagoa de Jacarepaguá e Marapendi	934.529	9,20%		
V-c2	Lagoa Rodrigo de Freitas	346.063	3,40%		
V-e1	Lagoa de Niterói	79.873	0,80%		
V-e2	Lagoa de Maricá	127.564	1,20%		
	Total Geral	10.209.654	100,00%		

Com relação à distribuição da população, e considerando os setores censitários do IBGE, a RH V apresenta concentrações demográficas superiores a 500 habitantes por hectare (ha) – ou 10.000 m^2 , correspondendo a um quarteirão, ou quadra, de 100 x 100 m – e, em algumas localidades como Duque de Caxias, Rio de Janeiro e Niterói, mais de 2.000 hab/ha, Figura 81.

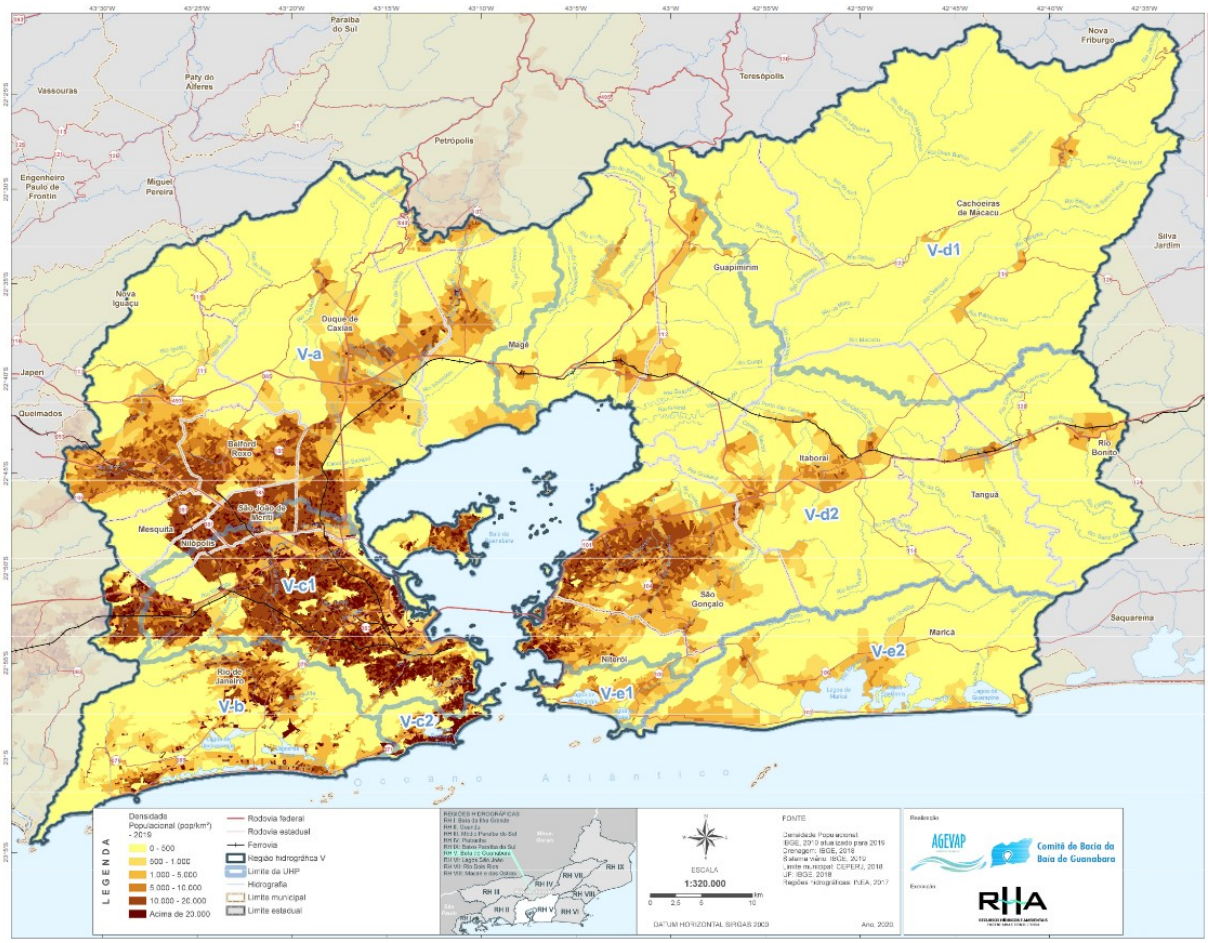


Figura 81. Densidade populacional por setor censitário na RH V - Baía de Guanabara. Fonte: IBGE (2010), citado por CBH-BG (2020).

4.3.1.2. Cobertura e uso da terra

A cobertura e uso da terra, e as atividades econômicas associadas, são responsáveis pela maioria dos impactos negativos que alteraram a qualidade, quantidade e disponibilidade das águas.

Destacam-se, dentre as muitas formas de ocupação e atividades presentes, a ocupação urbana, saneamento, agricultura, ocupação urbana e industrial em grande parte do território, Figura 82.

A destacar, com relação à cobertura e uso da terra, a predominância das áreas urbanas, cor magenta; campos e pastagens, amarelo; e agricultura, em marrom claro, na Figura 82. A vegetação secundária em estágio médio ou avançado

de recuperação, cor verde, está presente somente nas áreas mais íngremes, não acessíveis à população, além de Unidades de Conservação (AGEVAP/CBH-BG, 2020).

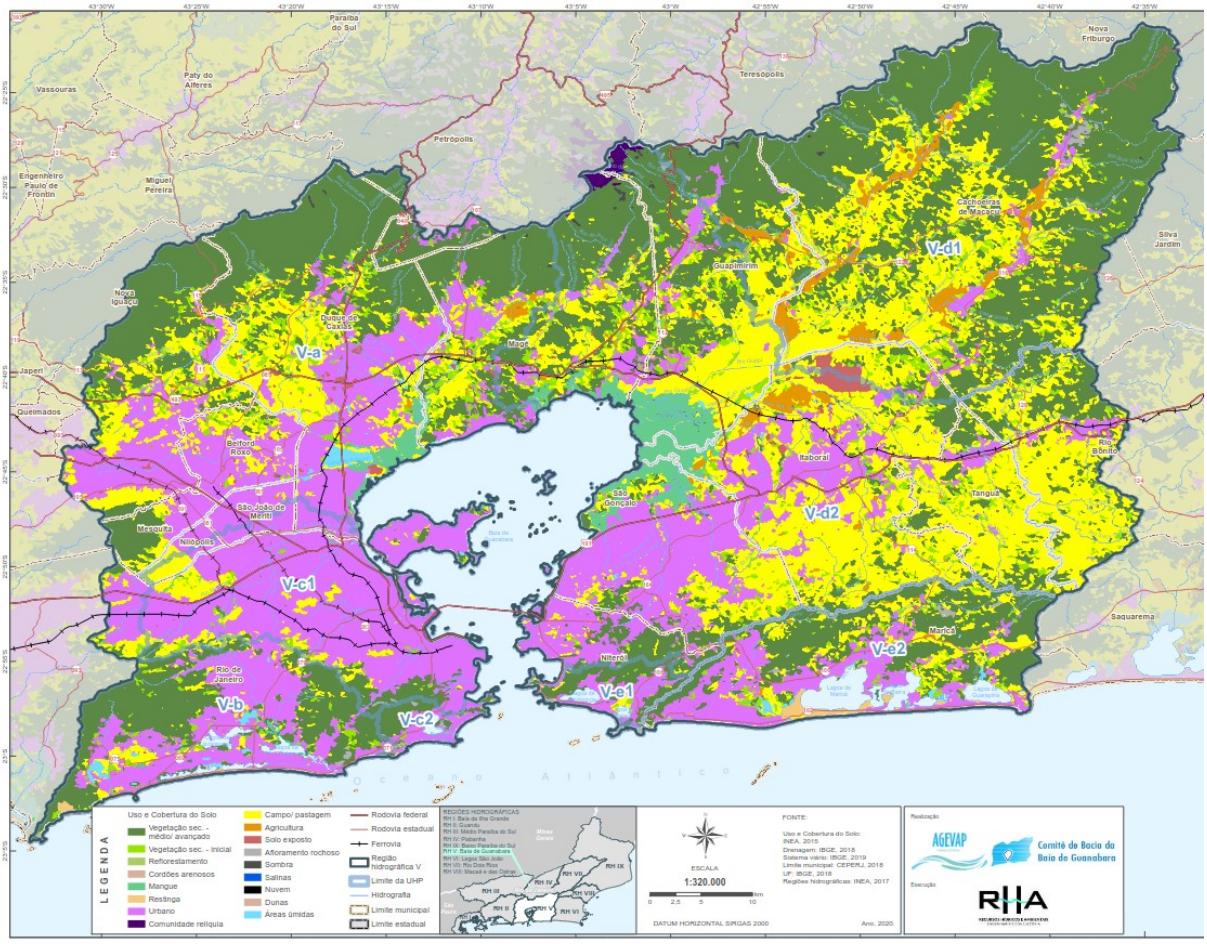


Figura 82. Uso e cobertura da terra na RH V: na cor rosa, ocupação urbana; e em amarelo, campos desmatados e pastagens. Fonte: CBH-BG/AGEVAP (2020).

Ao considerar o território geográfico abarcado pela Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com diversos municípios conurbados, muitos desses agentes degradadores da qualidade ambiental são intensamente amplificados.

Tal qual a ocupação de margens de rios e encostas, ausência de infraestrutura habitacional – resultando em mais de um milhão e duzentos mil habitantes residindo em aglomerados subnormais, Figura 83 e Quadro 25 – além do lançamento de efluentes domésticos, industriais e de drenagem das vias públicas, a

maior parte deles sem tratamento, além de resíduos sólidos urbanos e chorume de antigos lixões, em vazadouros, margens e cursos d'água, além dos manguezais.

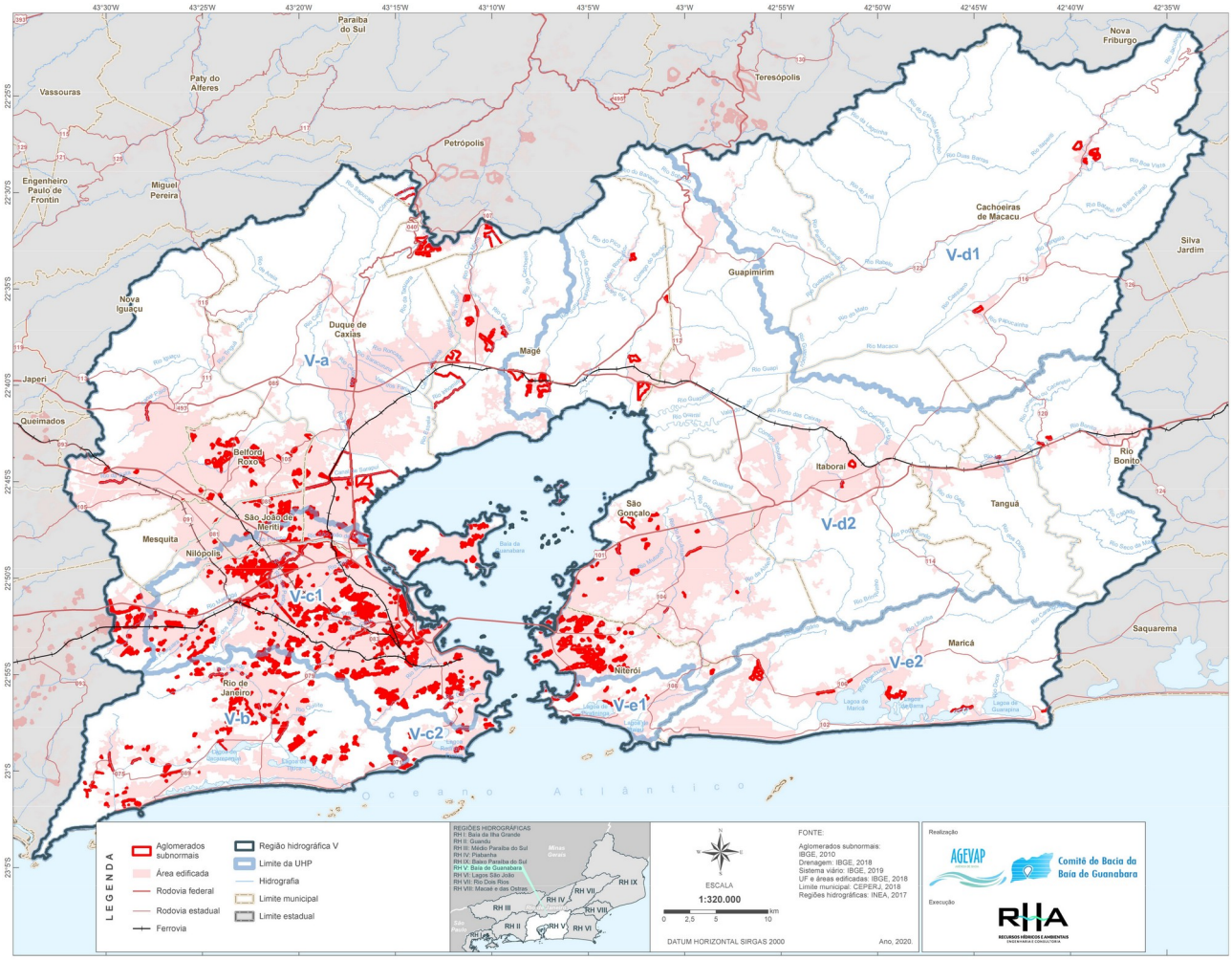


Figura 83. Comunidade, loteamentos, aglomerados subnormais e conjuntos habitacionais, conforme informações do MP em Mapas. Fonte: Coimbra et al. (2021).

Quadro 25. População de parte da RH V – BG residente em aglomerados subnormais nas bacias hidrográficas drenantes na Baía de Guanabara. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2020).

UHP		População (2019)	Pop. aglomerados sub-normais (2019)	Proporção pop. aglomerados sub-normais (%)	Proporção da pop. Total aglomerados sub-normais (%)
V-a	Rios Iguaçu e Saracuruna	3.011.865	184.765	6,13%	14,89%
V-c1	Rios Pavuna-Meriti, Faria-Timbó e Maracanã, Ilha do Governador e Ilha do Fundão	4.236.982	957.645	22,60%	77,20%
V-d1	Rio Macacu	67.484	5.043	7,47%	0,41%
V-d2	Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá	1.974.528	93.044	4,71%	7,50%
	Total	**9.290.859**	**1.240.497**	**14,83%**	**100,00%**

Na RH V, é elevada a carga de esgotos lançada diretamente nos corpos hídricos ao considerar a falta de cobertura da rede pública e coleta, adicionalmente à população residente em habitações subnormais, Figura 84.

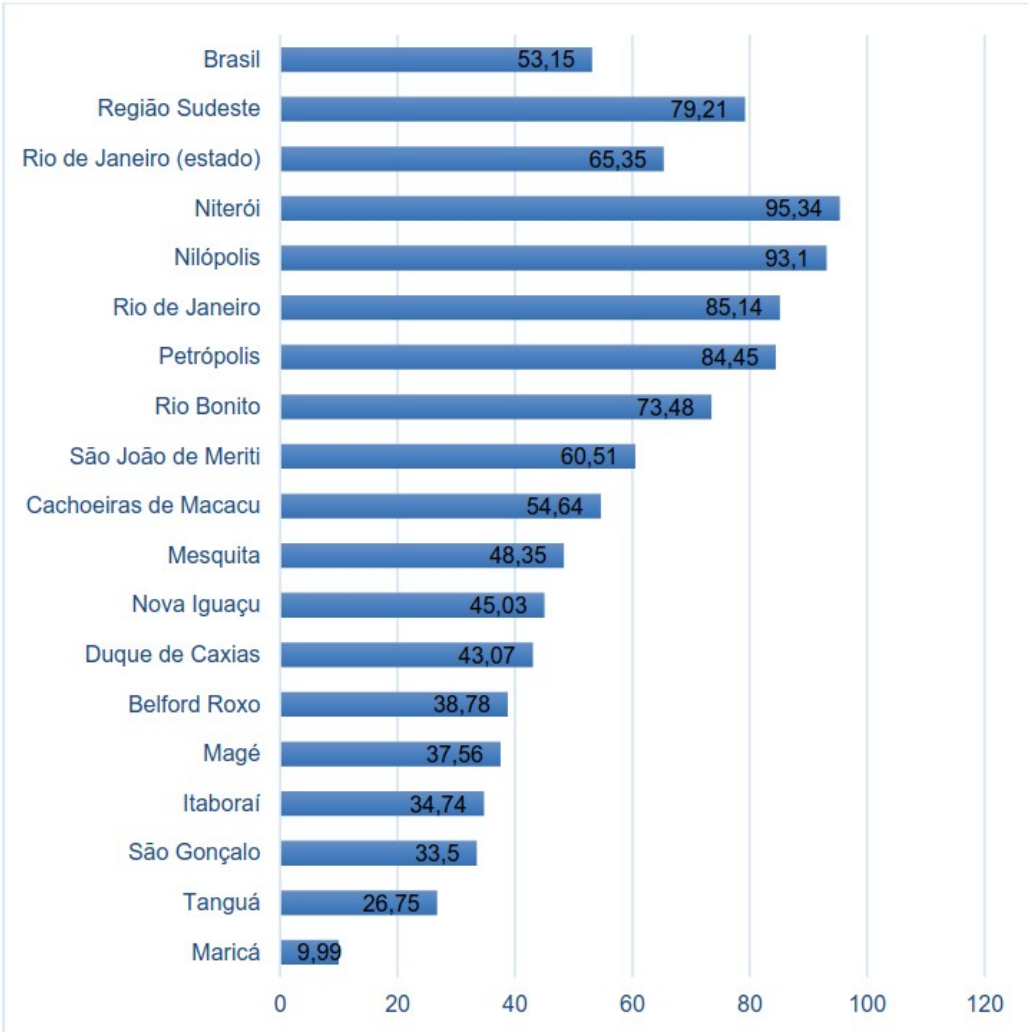


Figura 84. Índice de coleta de esgoto junto à população residente, em 2018, nos municípios total ou parcialmente inscritos na RH V – Baía de Guanabara. AGEVAP/CBH-BG (2020).

Ressaltando que, quando há coleta, ocorre unicamente tratamento parcial dos efluentes, na maior parte das situações.

Com o necessário destaque para as áreas ocupadas por residências subnormais nas quais, como regra, não há esgotamento sanitário e, em muitos casos, coleta de resíduos sólidos domiciliares corriqueiramente lançados nas ruas,

margens e coleções hídricas.

Com relação aos resíduos sólidos, até 2010, a maior parte, ou quase totalidade, dos municípios do estado do Rio de Janeiro não contava com estrutura adequada para a recepção e disposição de resíduos sólidos urbanos, destacando-se, no caso da Baía de Guanabara, o lixão Jardim Gramacho, o maior da América Latina, desativado em 2012, mas ainda operando em menor escala (informações pessoais de moradores da região), em condições de ilegalidade.

A quantidade de resíduos sólidos domésticos gerados pela população distribuída nos municípios inscritos na RH V – BG, Quadro 26, demonstra que mais de 40 toneladas de lixo não são coletadas diariamente, sendo lançadas nas ruas, Áreas de Preservação Permanentes (APPs), em margens de cursos d'água, canais, córregos, riachos e rios, além da Baía de Guanabara (AGEVAP/CBH-BG, 2020).

Quadro 26. Quantidade de resíduos sólidos domésticos gerados e coletados nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2020a).

Município	População Total atendida (habitantes)	População Urbana atendida (habitantes)	Coletado per capita (kg/hab.dia)	Quantidade Gerada estimada (ton/dia)	Quantidade coletada declarada (ton/dia)
Belford Roxo	508.000	508.000	0,67	340,4	338,7
Cachoeiras de Macacu	55.632	50.652	0,64	35,6	35,3
Duque de Caxias	913.449	910.926	1,57	1.434,1	1.432,7
Guapimirim	57.602	57.602	0,22	12,7	12,7
Itaboraí	236.308	235.853	0,66	156,0	156,0
Magé	219.169	207.634	1,10	241,1	241,6
Maricá	153.008	150.643	0,94	200,8	141,5
Mesquita	175.620	175.620	1,40	245,9	245,2
Nilópolis	158.319	158.319	0,67	106,1	106,7
Niterói	511.786	511.786	1,02	522,0	523,3
Nova Iguaçu	794.793	787.328	1,31	1.041,2	1.038,3
Petrópolis	304.110	289.716	1,40	425,8	424,7
Rio Bonito	56.606	43.619	1,25	70,8	70,7
Rio de Janeiro	6.688.927	6.688.927	1,26	8.428,0	8.436,3
São Gonçalo	986.177	985.457	0,64	631,2	630,2
São João de Meriti	471.888	471.888	0,99	467,2	466,9
Tanguá	32.970	29.425	-	-	14,8
Total				**14.358,6**	**14.315,4**
				Déficit de coleta (ton/dia)	**43,18**

Os resíduos sólidos urbanos coletados pelo serviço público são destinados a 26 unidades de triagem, unidades de transbordo, centros de gerenciamento de resíduos (CTR) ou aterros sanitários distribuídos tanto no interior quanto fora do território da RH V – Baía de Guanabara (Coimbra et al., 2021).

Quanto à drenagem urbana, a avaliação se dá por meio da mensuração de:

- áreas suscetíveis a inundação;
- população impactada por eventos hidrológicos nos últimos 5 anos;
- parcela de domicílios em situação de risco e
- taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais na área urbana (AGEVAP/CBH-BG, 2020b).

Com relação às águas pluviais nos municípios da RH V – BG, ocorrem dois sistemas de drenagem:

- sistema exclusivo para drenagem pluvial do tipo rede separadora absoluta, com duas redes independentes (águas pluviais e esgoto sanitário) e
- sistema unitário, com uma rede recebendo água de chuva e águas servidas urbanas (AGEVAP/CBH-BG, 2020a).

Dos municípios da RH V, somente três contam com rede separadora absoluta, enquanto os 12 restantes contam com sistema unitário. Dentre os últimos, Cachoeiras de Macacu e São João do Meriti possuem algum tipo de tratamento de água pluvial e esgotos, enquanto os demais não contam com nenhum tipo de tratamento.

E demonstram, portanto, a magnitude do problema causado pela falta de atenção à drenagem urbana ao considerar os poluentes químicos, restos de pneus e peças automotivas, combustível e óleo lubrificante, tintas da faixa de rodagem; dentre muitos outros contaminantes, aos quais se somam os poluentes físicos, químicos e biológicos provenientes de residências, atividades de comércio e serviço, hospitais e laboratórios, para citar alguns tipos de fontes presentes em áreas urbanas.

Destacando-se, em decorrência, a falta de interesse, foco e ações objetivas voltadas para avaliação e controle da poluição e contaminação introduzidas pelas águas pluviais e geradas pela drenagem urbana (AGEVAP/CBH-BG, 2020).

Na RH V – Baía de Guanabara, as atividades agrícolas são caracterizadas, majoritariamente, pela agricultura familiar, não assumindo papel relevante para a

economia regional. Os cultivos preponderantes referem-se a aipim, milho verde, chuchu, cana-de-açúcar e café, além da silvicultura e floricultura, atividades em expansão com contínuo incremento das áreas plantadas.

A despeito da modalidade de agricultura, há registro de poluição difusa causada pelo uso de agrotóxicos em lavouras na área de drenagem da sub-bacia hidrográfica dos rios Guapi/Macacu (KCI Technologies, 2017).

A pecuária está afeita à bovinocultura de corte e leite, com maior importância, seguida pela criação de animais de pequeno e médio porte, com ênfase na caprinocultura e ovinocultura (AGEVAP/CBH-BG, 2020c).

A silvicultura ocorre na maior parte dos municípios da RH V – BG, direcionada ao cultivo de eucalipto para a produção de escoras, mourões, postes e lenha, dentre outros (EMATER, 2017, citado por Coimbra et al., 2021).

Atividades apícolas e avícolas ocorrem na maior parte dos municípios, enquanto a piscicultura está presente em alguns deles (AGEVAP/CBH-BG, 2020a).

A produção mineral está predominantemente voltada para minerais não metálicos utilizados pela construção civil e, especificamente, areia e brita. A cerâmica vermelha tem papel importante na economia do estado e o polo cerâmico responde pela produção de 40% dos tijolos utilizados no estado.

Enquanto a exploração e envase de água mineral é uma atividade em expansão na RH V.

Minerais metálicos como fluorita e feldspato são produzidos em Tanguá e Maricá para atender ao estado do Rio de Janeiro (AGEVAP/CBH-BG, 2020a).

Ressaltando que a atividade de mineração impacta, além da área minerada, as regiões no entorno utilizadas para disposição de estéril e rejeitos.

Com relação às atividades das indústrias de transformação – o setor industrial, como comumente denominado – a RH V – Baía de Guanabara caracteriza-se como província portuária com plataforma logística para recebimento e escoamento de cargas e, consequentemente, importante polo industrial consolidado atuando em diversos segmentos, Figura 85, com destaque, como mais importantes, as indústrias dos setores petróleo e gás, com destaque para a Refinaria Duque de

Caxias (REDUC) e o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro, em fase de implantação, Quadro 27, agrupando-as por Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs).

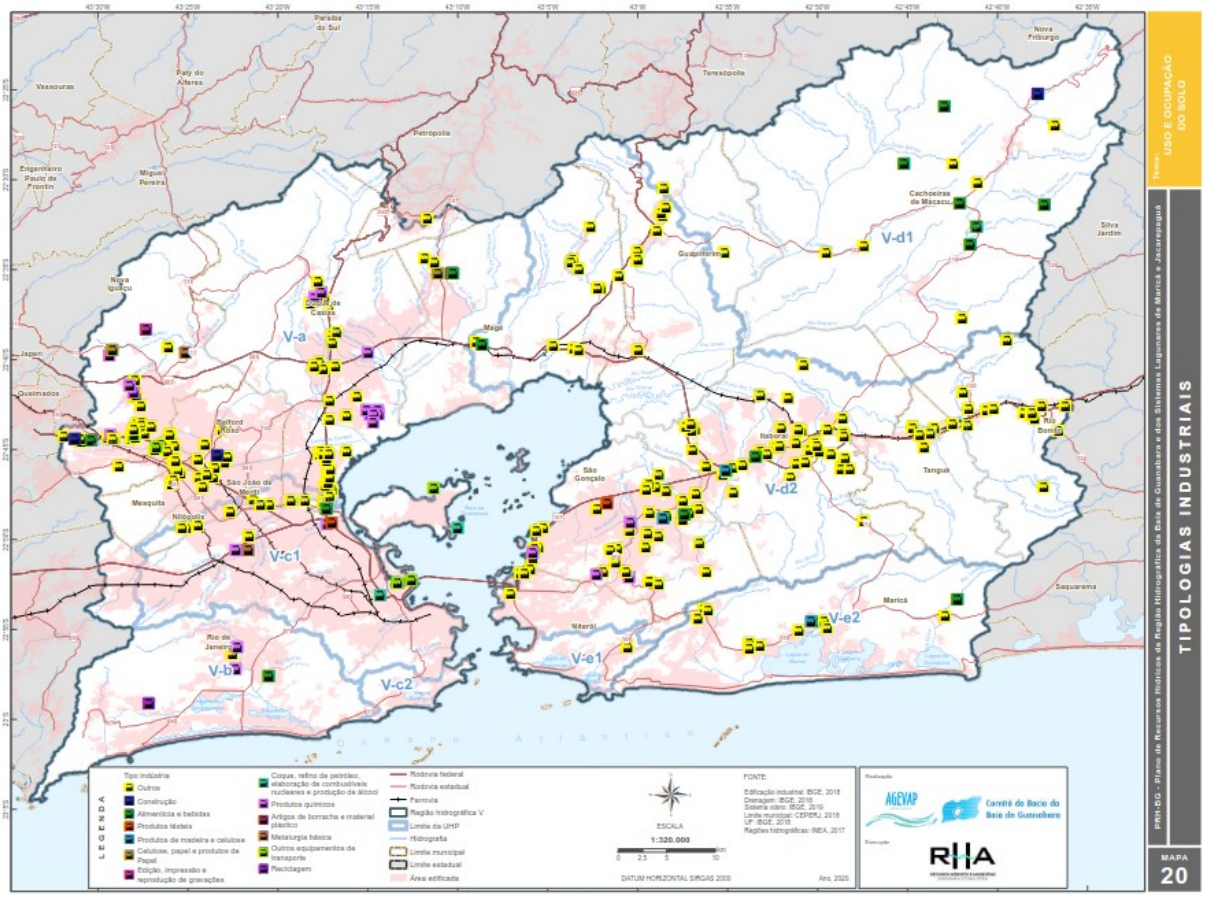


Figura 85. Distribuição de indústrias por UHP na Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2020a).

Adicionalmente ao Curtume Carioca, Eletroquímica Pan-Americana, Refinaria de Manguinhos, Bayer do Brasil, Petroflex, Companhia Progresso Industrial do Brasil, Atlantic Indústrias de Conservas e Companhia Brasileira de Antibióticos. Além do setor voltado à construção e reparo naval, reunindo o maior potencial poluidor, bem como o segmento de tecnologias voltadas ao complexo da saúde e, especificamente, química, biotecnologia, equipamentos e materiais.

E, ainda, portos e terminais marítimos, mas também muitas outras atividades de menor porte que incluem desde as oficinas mecânicas, postos de gasolina, lavanderias industriais, pequenas fábricas de produtos químicos para citar os

principais tipos de atividades industriais presentes na RH V (AGEVAP/CBH-BG, 2020a; Alencar, 2016, citado por Coimbra et al., 2021).

Quadro 27. Principais indústrias e infraestrutura da cadeia produtiva de petróleo e gás situadas nas UHPs. Fonte: Petrobras (2020), citada por AGEVAP/CBH-BG (2020a); Negreiros; Araújo; Coreixas (2002).

UHP	Localização	Unidade	Operações e Produtos
V-a	Duque de Caxias	REDUC - Refinaria Duque de Caxias	Óleo Diesel, gasolina, querosene de aviação (QAV), asfalto, nafta petroquímica, gases petroquímicos (etano, propano e propeno), parafinas, lubrificantes, GLP, coque, enxofre.
	Duque de Caxias	Terminal Campos Elíseos Oleodutos (à Betim, Angra dos Reis e Macaé) Dutos à REDUC	Recebimento e o armazenamento do petróleo originado de Angra dos Reis, de Macaé e da Ilha D'água, além do abastecimento de petróleo e óleo diesel da Refinaria Gabriel Passos (Regap).
	Duque de Caxias a Macaé	Gasodutos da REDUC (Gasduc) à refinaria de Macaé (RJ).	O primeiro gasoduto tem 184 km de extensão, Gasduc II tem 182,1 km, e o Gasduc III percorre 181 km.
	Duque de Caxias	Termoelétrica Governador Leonel Brizola. Usina Termorio.	4.761 megawatts (MW) para o Sistema Nacional de Energia (2014).
V-d2	Itaboraí	COMPERJ – Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Refinaria em construção)	Processamento de gás natural (UPGN), com capacidade projetada de processamento de até 21 milhões de m3 por dia.
		Gasotudo (em construção) Rota 3 que ligará o cluster do pré-sal na Bacia de Santos à Unidade de Processamento de Gás Natural do Comperj	Aproximadamente 355 km de extensão total, sendo 307 km referentes ao trecho marítimo e 48 km referentes ao trecho terrestre. A vazão de escoamento do gasoduto (UPGN) é de aproximadamente 18 milhões de m3 de gás por dia.
Baía de Guanabara	Ilha do Governador	Terminal aquaviário da Ilha Redonda. Oleoduto GLP-REDUC (18 km)	Operações de cabotagem, de importação e de exportação de GLP, de butadieno e de propeno.
	Ilha do Governador	Terminal aquaviário de Ilha d'água. Dutos entre Ilha d'Água e Reduc (9 dutos de aproximadamente 14km).	Operações de cabotagem, de importação e de exportação de derivados de petróleo
	Ilha Redonda	Terminal Flexível de Regaseificação de GNL	Produção de gás natural e abastecimento de termoelétricas da região, principalmente.

4.3.1.3. Atividades realizadas no espelho d'água da Baía de Guanabara

As águas da Baía de Guanabara, seu substrato e ambientes estuarinos associados aos rios que nela deságuam asseguram a existência de diversos tipos de atividades na esfera artesanal e industrial. E muitas delas acarretam degradação da qualidade das águas, atributos ecológicos, sociais, estéticos e paisagísticos.

A pesca artesanal congrega entre 5.000 e 18.000 pescadores, de acordo com o comportamento sazonal das espécies de moluscos, crustáceos e peixes de interesse econômico que ocorrem na baía e região costeira, congregados em seis Colônias de Pescadores: Z-8 Ponta da Areia, Niterói; Z-9 Praia de Olaria, Magé; Z-10 Ilha do Governador, RJ; Z-11 Ramos, RJ; Z-12 Olaria, RJ e Z-13 Copacabana e Urca, RJ, Figura 86, de acordo com Duverval et al. (2021).

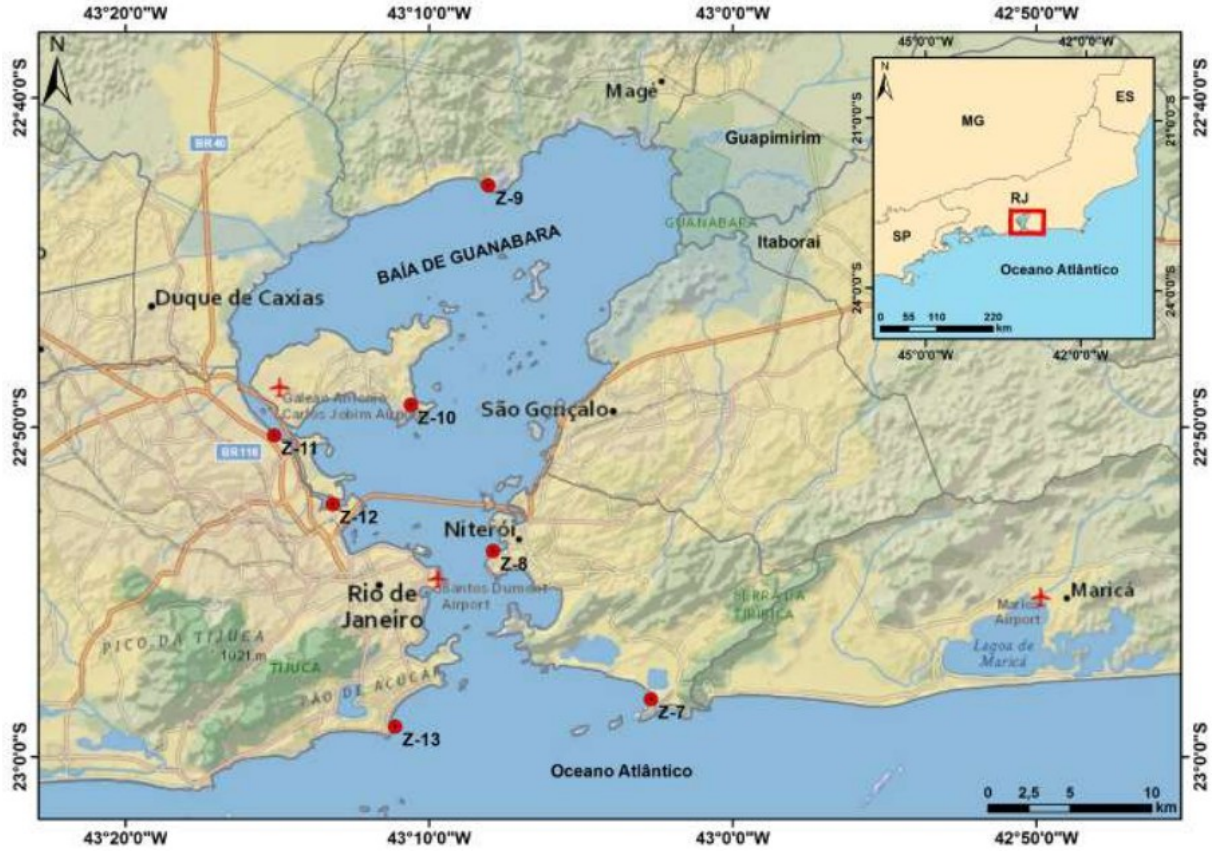


Figura 86. Localização das Colônias de Pescadores na Baía de Guanabara. Fonte: (Duverval et al., 2021).

Complementarmente às Colônias, cerca de 20 Associações, além de outros tipos de entidades, aglutinam essa categoria profissional (AGEVAP/CBH-BG, 2020a). Com a ressalva de que pescadores artesanais não se ligam a nenhuma dessas instituições por não se sentirem representados.

Quanto aos locais para desembarques de pescado na Baía de Guanabara, somam atualmente cerca de 40 pontos e possibilitam avaliar a importância da atividade, Figura 87.

Já com relação ao número de embarcações utilizadas, levantamento realizado por Jablonski et al. (2002) registrou 1.402 embarcações voltadas para a atividade pesqueira, utilizando diferentes petrechos de pesca.

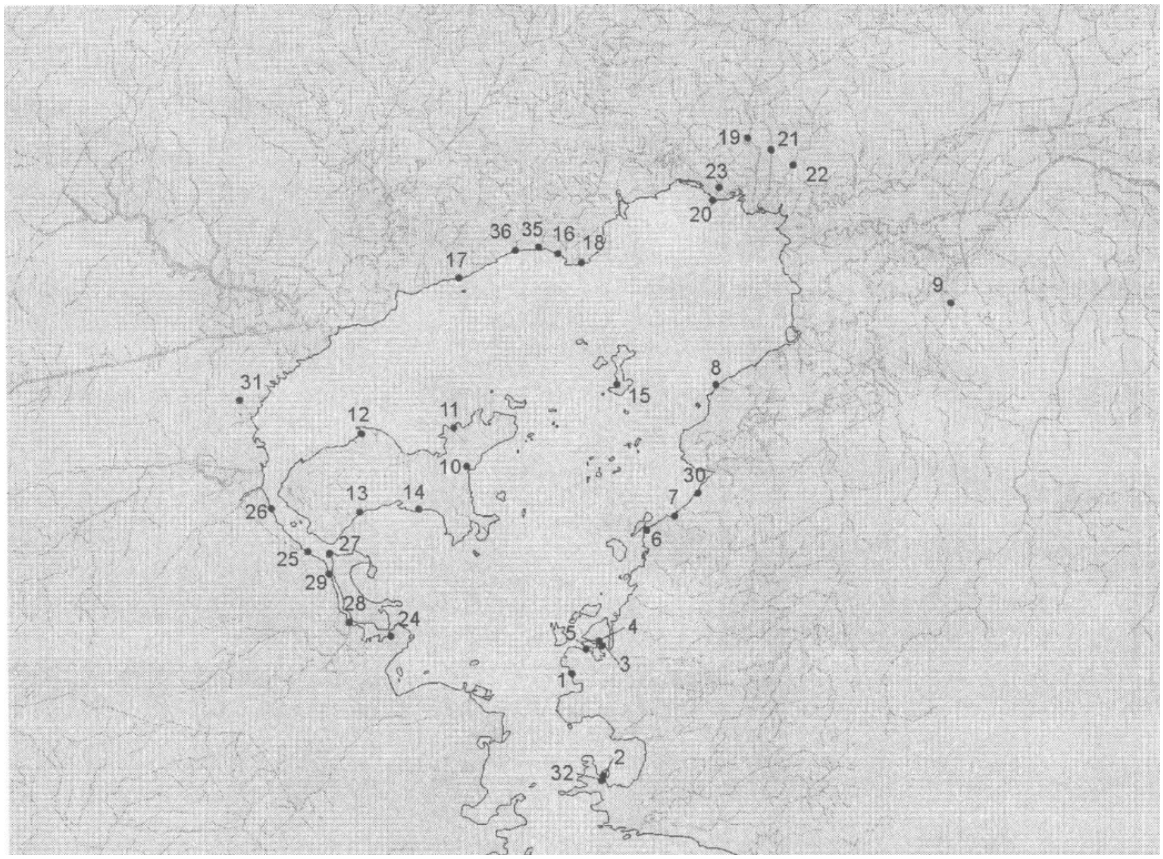


Figura 87. Localização aproximada dos pontos de desembarque de pescado na Baía de Guanabara. Fonte: Jablonski et al. (2002).

Atividades de maricultura estão presentes por meio do cultivo de mexilhão *Perna perna* na Enseada de Jujuruba, Niterói, realizado por cerca de 120 famílias de pescadores residentes nas imediações que, no início da década de 1990, se organizaram e passaram a cultivar esse molusco, atividade que realizam até o presente (Capello; Brotto, 2016).

Com relação às embarcações voltadas para esporte e recreio na Baía de Guanabara, estão sediadas em marinas, iates clubes, garagens náuticas e atracadouros distribuídos em 13 estruturas no Rio de Janeiro, oito em Niterói e uma em São Gonçalo, além daquelas que permanecem amarradas em poitas localizadas nas enseadas de Botafogo, Icaraí e Jurujuba, além do Saco de São Francisco, principalmente, Quadro 28 e Figura 88.

Quadro 28. Embarcações agrupadas por tipo, registradas na Capitania dos Portos do Rio de Janeiro e sediadas na Baía de Guanabara. Fonte: Instituto Rio 21 (2021).

Tipo de embarcação	Quantidade
Lancha	17.884
Bote / embarcação miúda	6.827
Veleiro	5.558
Moto-aquática ou similar	4.451
Total	**34.720**

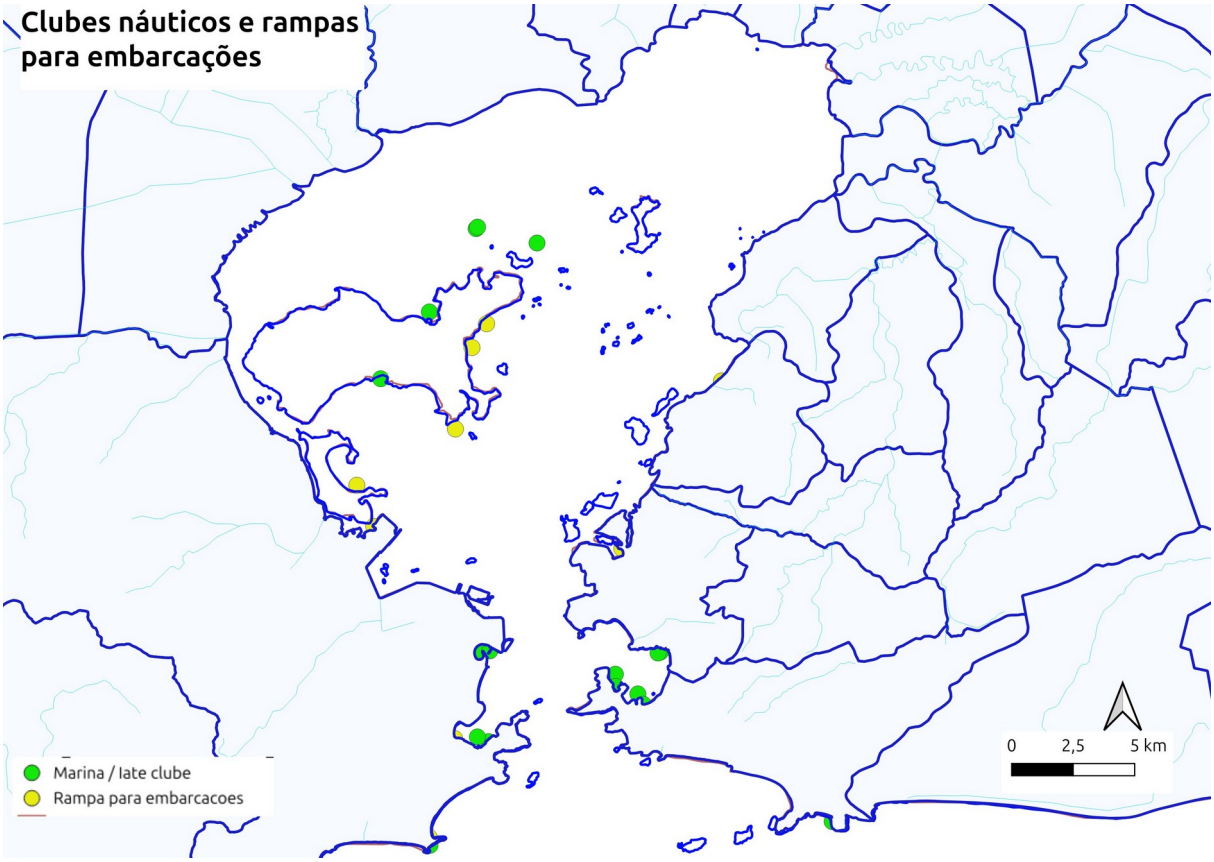


Figura 88. Localização das marinas, clubes náuticos e rampas para descida de embarcações na Baía de Guanabara. Fonte: (Gherardi; Cabral, 2007).

Com relação à indústria naval voltada para a fabricação de embarcações e veículos de transporte aquático, construção de plataformas de petróleo e fornecimento de peças navais, além de serviços de reparos navais em geral,

distingue-se como importante setor que se expande e retrai alinhado com o resultado da economia brasileira.

A infraestrutura conta com oito estaleiros instalados em Niterói, quatro no Rio de Janeiro, um em Duque de Caxias, além de diversas atividades para prestação de serviços nessa área, Quadro 29.

Quadro 29. Principais indústrias, infraestrutura naval e operadoras de serviços situadas nas UHPs da RH V - BG. Fonte: Portal Naval (2020) e FIRJAN (2015), citados por AGEVAP/CBH-BG (2020.ª).

UHP	Localização	Unidade	Operações e produtos
V-c1	Rio de Janeiro	Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro	Centro de manutenção da Marinha do Brasil. Realiza atividades técnicas e industriais, envolvendo o projeto, construção e manutenção dos meios navais.
	Rio de Janeiro	Estaleiro Inhaúma	Construção e conversão de embarcações.
	Rio de Janeiro	EISA - Estaleiro Ilha S.A.	Construção de embarcações e apoio offshore.
	Rio de Janeiro	ICN - Itaguaí Construções Navais S.A.	Construção de submarinos e aparelhos nucleares.
	Rio de Janeiro	RIO NAVE Serviços Navais Ltda.	Construção e manutenção de embarcações.
	Rio de Janeiro	SERMETAL Estaleiros S.A.	Projeto e construção de embarcações.
	Rio de Janeiro	TRIUNFO Operadora Portuária Ltda.	Operação portuária e logística.
V-d2	Niterói	Estaleiro Aliança	Construções de embarcações para indústria de Offshore
	Niterói	Camorim Serviços Marítimos	Operações portuárias, apoio offshore, manutenção de embarcações e transportes.
	Niterói	Dockshore Navegação e Serviços Ltda.	Construção e reparação naval.
	Niterói	Estaleiro Equipemar	Serviços de apoio marítimo e de engenharia de obras civis, no mar, lagos e rios.
	Niterói	ENAVAL - Engenharia Naval e Offshore Ltda.	
	Niterói	Estaleiro Brasa Ltda.	
	Niterói	Estaleiro Mauá – Ponta d'áreia	Construção de todos os tipos de embarcação. Serviços de docagem, reparos flutuando, engenharia especializada, conversões, novas construções e atividades correlatas.
	Niterói	Estaleiro TCE	Construção e manutenção naval, logística e acomodações.
	Niterói	NAPROSERVICE Offshore Estaleiros do Brasil Ltda.	Serviços navais e offshore.
	Niterói	Estaleiro Mac Laren	Gestão de Contratos de Obras Navais e Offshore. Construção e reparo de embarcações.
	Niterói	Estaleiro Renave e Enavi	Obras gerais de reparos, jumborização, remotorização, conversão e extensão de vida útil de navios.
	Niterói	Estaleiro ETP	Construção de embarcações.
	Niterói	Estaleiro UTC Engenharia	Elaboração de projetos, suprimento, construção e montagem, comissionamento, condicionamento, assistência à partida, pré- operação, operação assistida e partida, além de manutenção especializada, preventiva e corretiva em embarcações.
	Niterói	Estaleiro Vard Niterói	Construção de embarcações para serviços de exploração e produção de petróleo e gás.
	Niterói	Estaleiros Chamon Ltda.	Construção de embarcações comerciais e de usos especiais.
	Niterói	Estaleiro Minas	Docagem e manutenção de embarcações.
	Niterói	Nitshore Engenharia e Serviços Portuários S.A.	Serviços logísticos.
	São Gonçalo	Estaleiro Cassinú	Reparo naval, construção e operações onshore e offshore
	São Gonçalo	Estaleiro São Miguel	Serviços de construções, reparos e modernização de embarcações de apoio marítimo e offshore, com alto valor tecnológico agregado (PSVs, OSRVs e AHTSs).
	São Gonçalo	Dock Brasil Engenharia e Serviços S.A.	Construção e reparação naval.
	São Gonçalo	Estaleiro São Jacinto Ltda.	Construção e reparação naval.
Baia de Guanabara	Ilha do Governador	Estaleiro EISA	Construção de embarcações, incluindo o segmento offshore, portuário, militar e de apoio marítimo e portuário.
	Niterói (Ilha do Caju)	Estaleiro Brasa	construção de topsides e integração de FPSOs (Unidade flutuante de armazenamento e transferência de petróleo e gás natural).

Quanto às instalações portuárias existentes na Baía de Guanabara, totalizam-se sete unidades no Rio de Janeiro, uma em Duque de Caxias, uma em São Gonçalo e nove em Niterói, atendendo a diferentes finalidades, Figura 89, como informa AGEVAP/CBH-BG (2020c).

Com destaque, na margem oeste, onde se situa o Porto do Rio de Janeiro, com 6,8 km de cais acostável e 29 berços, profundidade variando entre 10 e 15 metros, além de infraestrutura situada na retroterra. Os principais tipos de mercadorias movimentadas incluem contêineres, trigo, produtos siderúrgicos e concentrados de zinco, na importação, e contêineres, ferro-gusa, produtos siderúrgicos e veículos para exportação (Portos Rio, 2026).

E, na margem leste, o Porto de Niterói, com área total de 27.600 m^2, 431 m de cais e calado operacional de 7,5 metros, além de dois terminais – o Nitport Serviços Portuários S/A e o Nitshore Engenharia e Serviços Portuários S/A - utilizados, principalmente, para reparos navais e movimentação/armazenagem de cargas para embarcações de apoio offshore na cadeia de óleo e gás, principalmente, como suprimentos, peças sobressalentes, equipamentos e prestação de serviços especializados (Portos Rio, 2026).

Com relação ao transporte hidroviário, a Baía de Guanabara conta com quatro linhas de transporte de passageiros interligando o Rio de Janeiro com a Ilha do Governador, Paquetá e duas estações, Araribóia e Charitas, em Niterói, por meio de 21 embarcações e cerca de 260 viagens/dia (PDTU, 2015, citado por AGEVAP/CBH-BG, 2020a; KCI Technologies, Inc., 2016b).

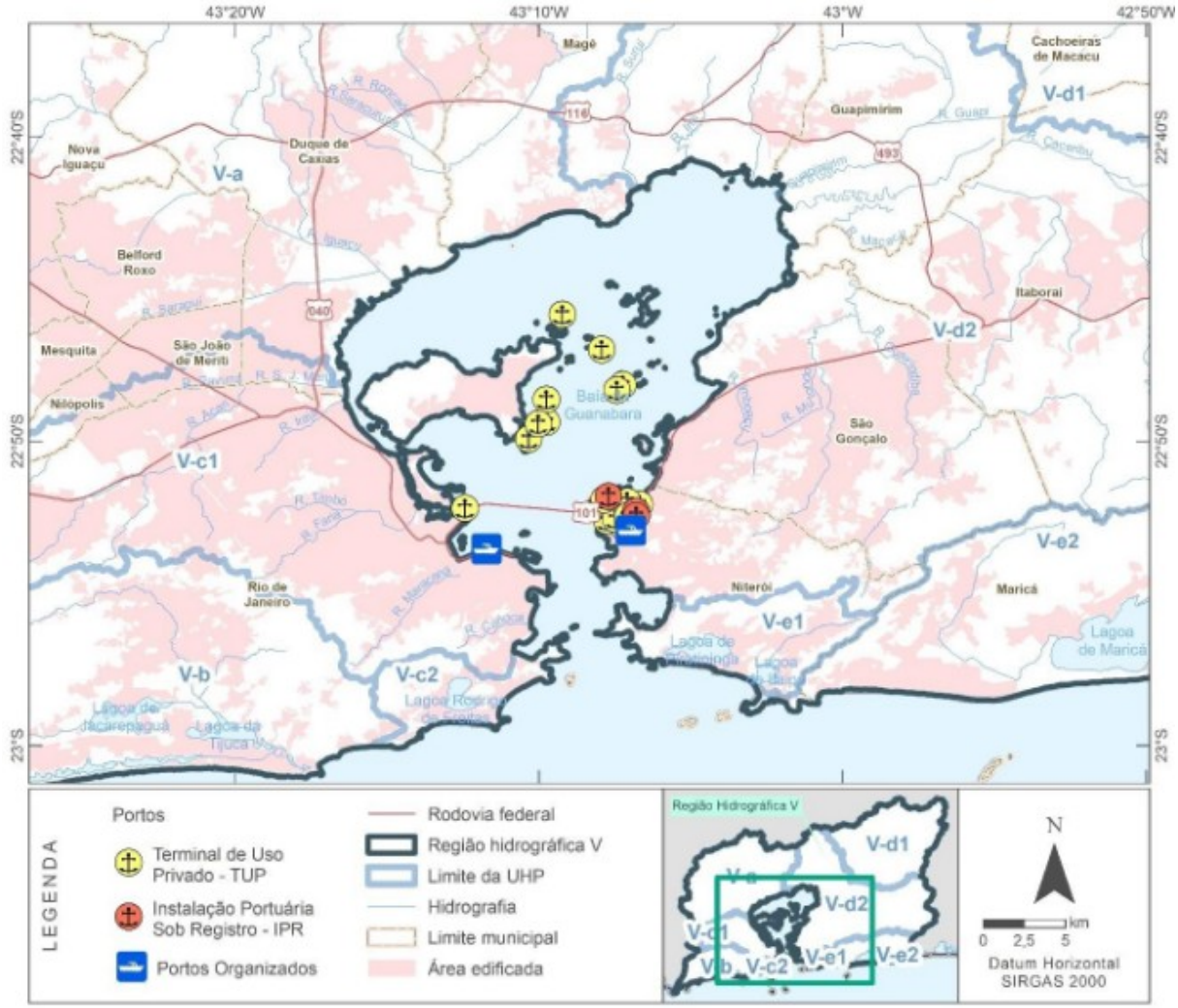


Figura 89. Instalações portuárias na Baía de Guanabara. Fonte: ANTAQ (2016), citada por AGEVAP/CBH-BG (2020c).

4.3.1.4. Indicadores de poluição e contaminação ambiental

Com relação aos passivos ambientais decorrentes de áreas contaminadas, a desativação dos lixões deixou, em alguns municípios da RH V, problemas ambientais decorrentes. Uma das recomendações do Plano de Recursos Hídricos da RH V – Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá foi diagnosticar as áreas prioritárias para recuperação desses passivos causados por lixões (AGEVAP/CBH-BG, 2022).

Mas não há indicação de identificação e remediação de áreas contaminadas decorrentes de atividades industriais; produção, armazenamento e comercialização de hidrocarbonetos; estacionamentos e manuseio de cargas rodoferroviárias, além de reciclagem de resíduos sólidos, entre outras atividades que se caracterizam como fontes potenciais de poluentes e, especificamente, metais pesados.

Importante ressaltar que, para fazer frente a esse sério problema, não foram identificadas na bibliografia ações e iniciativas levadas pelo executivo estadual, a não ser na Atualização e Complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica V, por meio de um programa de ação voltado para o diagnóstico e definição de áreas prioritárias para recuperação de passivos ambientais devido a lixões desativados (AGEVAP/CBH-BG, 2023), a ser futuramente executado, sem menção aos passivos causados por atividades industriais, atividades econômicas em geral, além de postos de combustíveis e revendedores de hidrocarbonetos.

A Petroflex S.A., ligada ao polo petroquímico de Duque de Caxias há várias décadas, grande produtora de borracha sintética, acumulou passivo ambiental decorrente do descarte de resíduos sólidos ao longo de décadas, em quantidade estimada de 45.000 toneladas, em manguezal existente no sítio da empresa. Passivo atenuado na razão direta da retirada e destinação, para coquerias de cimento, de 30.000 toneladas entre 1998 e 2000. Além de mais 13.000 toneladas em 2001 (Souza, 2006).

Já o Porto do Rio de Janeiro, visando obter Licença de Operação e Recuperação junto ao Inea, elaborou avaliação preliminar, em 2012, do passivo ambiental em solo e água subterrânea na área sob sua responsabilidade. Não foram identificadas fontes de informações a respeito dos resultados obtidos (KCI Technologies, Inc., 2016b).

Concomitantemente, ao longo de décadas, as margens da Baía de Guanabara foram utilizadas como lixões ao ar livre, transportados para corpos d’água por ocasião das chuvas intensas. Ainda que tenham sido desativados, esses lixões configuram passivo ambiental depositado no fundo das águas que, com as variações das marés e ação dos ventos, afloram à superfície quando são arrastados

pelas correntes (Rangel; Oliveira, 2021).

A despeito do número, características e tamanho das atividades industriais desenvolvidas principalmente na margem oeste da Baía de Guanabara, não foram localizadas informações a respeito das áreas contaminadas e passivos ambientais adicionais àqueles oriundos de lixões, foco do interesse do Plano de Recursos Hídricos da RH V – Baía de Guanabara.

Quanto à qualidade das águas superficiais da RH V – BG, a avaliação se deu por meio da integração dos dados disponíveis no portal Inea entre 2014 e 2019, a partir das condições e padrões de qualidade de água estabelecidos pela Res. CONAMA nº 357/2005, para as Classes de Qualidade Especial, 1, 2, 3 e 4.

E utilizado o Índice de Qualidade das Águas (IQA), obtido por meio da ponderação de nove parâmetros – oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes, potencial hidrogeniônico (pH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), temperatura da água, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total —, cada um deles com peso distinto na fórmula utilizada para a composição e valor variando de 0 a 100.

Como os corpos d'água na RH V – BG não foram enquadrados em classes de qualidade, foram calculadas as medianas para cada ponto de coleta para classificação do valor de cada parâmetro (AGEVAP/CBH-BG, 2020b).

O resultado apresenta os níveis de qualidade de água, podendo variar em cinco classes – excelente, boa, média, ruim e muito ruim – como apresentado no Quadro 30.

Quadro 30. Faixas de classificação do IQA adotadas pelo Inea. Fonte: Inea (2026). Fonte: Inea (2025a).

Categoria de resultados	Classe da água	IQA	Significado
Excelente	Especial	100 ≥ IQA ≥ 90	Águas apropriadas para abastecimento público após tratamento convencional
Boa	1	90 ≥ IQA ≥ 70	
Média	2	70 ≥ IQA ≥ 50	
Ruim	3	50 ≥ IQA ≥ 25	Águas impróprias para abastecimento público após tratamento convencional necessitando de tratamento mais avançado
Muito ruim	4	25 ≥ IQA ≥ 0	

Os corpos hídricos das UHPs V-a e V-c1, Figura 90 e Quadro 31, situadas na porção oeste da Baía de Guanabara, apresentam água com condições e padrões correspondentes à Classe 4, a pior qualidade de água existente, com exceção de três pontos onde as condições correspondem à Classe 3 (AGEVAP/CBH-BG, 2022).

Na margem leste, alguns tributários apresentam boa qualidade, Classe 1, nas cabeceiras dos rios Macacu (UHP V-d1), além do Caceribu e Guapi (UHP V-d2), cinco pontos Classe 2 e cinco na Classe 3, Figura 90 e Quadro 31.

Ao passo que, na porção norte do território, a qualidade da água dos cursos d'água corresponde à Classe 3.

No que diz respeito à qualidade das águas, os corpos d'água que apresentam as piores condições são representados pelo arroio Fundo, arroio Pavuna, canal Aeroporto Maricá, canal do Cunha, canal do Mangue, canal da Penha, rio Acarí, rio Cabloco, rio dos Cachorros 1 e 2, rio Comprido, rio Farias, rio Guerenguê, rio Iguaçu, rio Imboassú, rio Irajá, rio Joana, rio Maracanã, rio Pavuna, rio Pavuninha, rio Retiro, rio São João de Meriti, rio Sarapuí e rio Trapicheiro (AGEVAP/CBH-BG, 2020b).

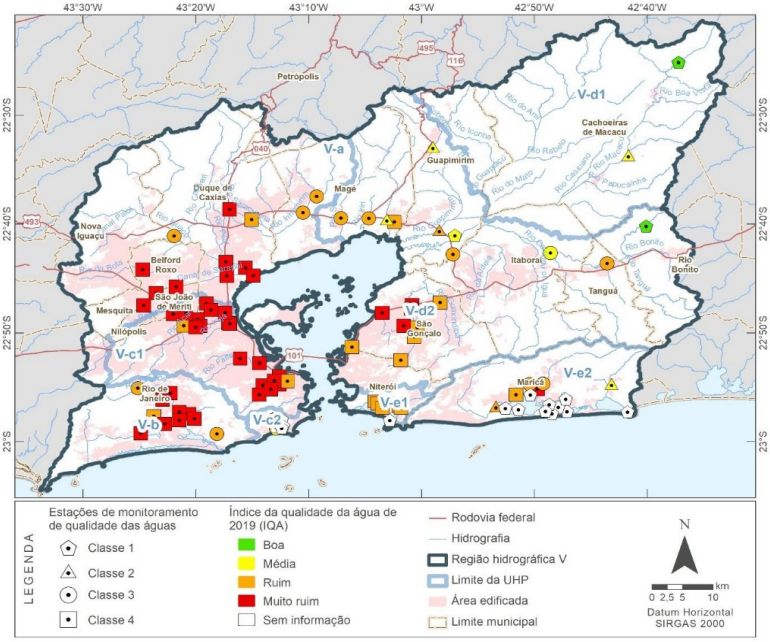
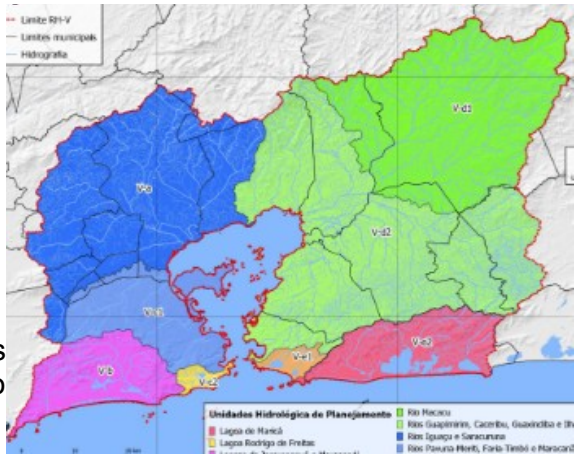


Figura 90. Pontos de amostragem da água superficial dos corpos d'água drenantes para a Baía de Guanabara. Fonte: (AGEVAP/CBH-BG, 2022).

Quadro 31. Classificação da média da qualidade da água nos pontos de coleta dos corpos d'água de cada UHP da RH V – Baía de Guanabara entre 2014 e 2019. Fonte: (AGEVAP/CBH-BG, 2022).

UHP	Corpo hídrico	Código	Média
V-a	Rio Bota	BT100	Classe 4
		IA250	Classe 3
		IA260	Classe 4
	Rio Iguaçu	IA261	Classe 4
		IA262	Classe 4
		IN450	Classe 3
	Rio Inhomirim	IN460	Classe 3
	Rio Saracuruna	SC420	Classe 4
		SR400	Classe 4
	Rio Sarapuí	SP300	Classe 4
		SP305	Classe 4
		SP307	Classe 4
		SP313	Classe 4
V-c1	Rio Acarí	AC240	Classe 4
		AC241	Classe 4
	Rio Caboblo	CB004	Classe 4
		CB005	Classe 4
	Rio dos Cachorros I	CH025	Classe 4
	Rio dos Cachorros II	CH088	Classe 4
	Rio Comprido	CM020	Classe 4
	Canal do Cunha	CN100	Classe 4
	Rio Farias	FR142	Classe 4
	Rio Irajá	IJ200	Classe 4
	Rio Joana	JN820	Classe 4
	Canal do Mangue	MN000	Classe 4
		MN001	Classe 4
	Rio Maracanã	MR040	Classe 4
		MR043	Classe 4
	Canal da Penha	PN180	Classe 4
	Rio Pavuna	PV981	Classe 4
		PV982	Classe 4
	Rio São João de Meriti	SJ220	Classe 4
	Rio Trapicheiro	TR060	Classe 4

UHP	Corpo hídrico	Código	Média
V-d1	Rio Macacu	MC965	Classe 1
		MC967	Classe 2
V-d2	Rio Alcântara	AN738	Classe 4
		AN740	Classe 4
		AN741	Classe 4
		AN750	Classe 4
	Rio Bomba	BM760	Classe 4
	Rio Caceribú	CC620	Classe 3
		CC622	Classe 3
		CC625	Classe 3
		CC630	Classe 1
	Rio Guapi	GP600	Classe 2
		GP601	Classe 1
	Rio Guaxindiba	GX720	Classe 4
	Rio Imboassu	IB810	Classe 4
	Rio Iriri	IR540	Classe 3
	Rio Magé	MG580	Classe 4
	Rio Mutondo	MT820	Classe 4
		MT821	Classe 4
	Rio Roncador	RN560	Classe 2
	Rio Soberbo	SB998	Classe 2
	Rio Suruí	SR500	Classe 3



Observação: as UHPs podem ser identificadas no cartograma ao lado a partir da cor do fundo de cada uma delas.

4.3.1.5. Síntese da Região Hidrográfica V e Baía de Guanabara

As áreas de captação e drenagem de diversos rios da margem oeste da baía passaram por intenso processo de urbanização, resultando na canalização de diversos deles. Como resultados, serviram de suporte para a abertura de ruas e avenidas, tornando-se, destarte, parte do sistema de esgotamento sanitário e

drenagem pluvial, como nos casos dos rios Berquó e Banana Podre, na bacia de Botafogo, grande parte do Carioca, na sub-bacia do Flamengo, e do Papa Couve, na bacia do Canal do Mangue (Coelho, 2007, citado por Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015).

Graças ao crescimento populacional e das atividades industriais presentes na RH V, é considerada, há décadas, como um dos ambientes mais poluídos do litoral brasileiro. Tanto pelo lançamento de esgotos domésticos ricos em carga orgânica e sem tratamento, como também pelo lançamento de efluentes gerados pelo grande parque industrial instalado, o segundo no território brasileiro ao considerar a diversidade e dimensões dos empreendimentos (Coimbra et al., 2021; Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015).

Em decorrência do intenso quadro de degradação ambiental da Baía de Guanabara, o Governo do Estado do Rio de Janeiro iniciou, a partir de 1990, o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG), com apoio financeiro do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e do Banco Japonês para Cooperação Internacional (JBIC). O principal objetivo do Programa foi atender às demandas das áreas de saneamento básico, abastecimento de água, coleta e destinação final adequada de resíduos sólidos, drenagem urbana, controle dos efluentes industriais e monitoramento ambiental (Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015).

As ações previstas estiveram afeitas à:

- esgotamento sanitário - as obras de esgotamento sanitário do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG) atenderam parcialmente às metas inicialmente planejadas, mas não produziram os resultados esperados.

  As Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) foram concluídas. Mas passaram a operar precariamente e dependendo da finalização das redes de coleta de esgoto para alimentá-las, situação que ainda persiste em diversas regiões.

  Além disso, o sistema de esgotamento reduz somente as cargas

poluentes das fontes pontuais, mas não das fontes difusas, como as águas de drenagem urbana e rural, fontes significativas de nutrientes, hidrocarbonetos, polímeros, pesticidas e contaminantes emergentes, além de metais pesados (Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015);

- poluição orgânica – as águas vêm perdendo qualidade ao longo do tempo em maior ou menor intensidade, a depender da região da baía. A intensificação da ocorrência de blooms de microalgas devido ao aumento da carga orgânica passou a ser constatada inclusive na região nordeste da Baía, onde a água é considerada de boa qualidade, elevada diversidade biológica e manguezais fundamentais para a manutenção da produtividade dos recursos pesqueiros renováveis (Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015);
- efluentes industriais – afluem para a Baía de Guanabara efluentes industriais não tratados de cerca de 10.000 estabelecimentos industriais de pequeno, médio e grande porte, intensa atividade portuária, fundeio e navegação de centenas de navios, além de um polo petroquímico (Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015).

  Wassermann, Freitas-Pinto e Amouroux (2000) estimaram que as 7.000 indústrias instaladas na RH V - Baía de Guanabara eram responsáveis por 25% da contribuição orgânica e quase totalidade das substâncias tóxicas introduzidas. Além de 22 kg de cianetos, 4.200 kg de fenóis, 1.800 kg de sulfetos e 4.800 kg de metais pesados lançados diariamente por efluentes industriais.

  Os mesmos autores citados concluíram que a maior concentração desses contaminantes ocorria na região oeste da Baía de Guanabara, acentuada pelos processos hidrodinâmicos que influenciam a sedimentação na região. Destacaram, ainda, que o rio São João do Meriti era um dos mais poluídos da região, além de se constituir na principal fonte de mercúrio devido à presença de planta cloro-alcalina instalada na bacia hidrográfica responsável pelo lançamento de 1.450

kg de mercúrio no ano de 1975. Quantidade reduzida para 20 kg, em 1979, graças à instalação de sistema de tratamento de efluentes;

- contaminação por hidrocarbonetos - as concentrações de HPA totais (mais de 38 tipos de HPA identificados) nas proximidades da Refinaria Duque de Caxias (Reduc), mensuradas em levantamento realizado pela Petrobras, apresentam valores maiores do que aqueles verificados na área próxima da APA de Guapimirim e no canal principal da Baía, embora as medianas das três áreas sejam semelhantes (Consórcio Labaqua & Aqualogy Brasil, 2015).

Adicionalmente, a Baía de Guanabara abriga, como citado, importante complexo portuário constituído pelos portos do Rio de Janeiro, Niterói e Neves, onde atracam, anualmente, mais de 2.000 navios comerciais. Conta, também, com 13 estaleiros e instalações para reparo de navios. E se caracteriza, portanto, como importante centro e rota marítima para grande número de navios mercantes, barcas para o transporte de passageiros, balsas, embarcações da pesca industrial e artesanal, esporte e recreio, lazer e turismo, além das bases e embarcações da Marinha do Brasil (Bérgamo, 2006).

Considerada área de segurança nacional, conta, adicionalmente, com duas bases navais e um estaleiro da Marinha, além de dois aeroportos internacionais civis — Santos Dumont e Antônio Carlos Jobim, o Galeão.

A título de resumo, a Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara abriga o segundo maior parque industrial do Brasil, uma grande refinaria de petróleo, a REDUC, dois portos comerciais, 16 terminais marítimos para óleo e 13 estaleiros, configurando importantes fontes de poluentes da região.

A essas atividades devem se somar os distúrbios causados pelo lançamento diário em suas águas de 18,6 m^3s^{-1} produzidos por mais de 10 milhões de habitantes; 470 t de carga orgânica; 64 t de resíduos industriais; 0,3 t de metais pesados; 7 t de hidrocarbonetos e 6 t de lixo. Agravado pela introdução de, aproximadamente, 13.000 t por dia de resíduos sólidos pela população presente na região, dos quais, por volta de 4.000 t, por não serem coletados, são lançados em

lixões clandestinos, terrenos vazios, rios e canais (Baptista Filho et al., 2019; Coimbra et al., 2021).

4.3.1.6. Atividades potencialmente introdutoras de metais pesados na RH V – Baía de Guanabara

A título de complemento, lista-se no Quadro 32 as atividades econômicas com potencial para introdução de metais pesados a partir das emissões, efluentes e resíduos gerados, de acordo com as referências consultadas, agrupadas em Seções definidas pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e distribuídas nas Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP) presentes na RH V – Baía de Guanabara, por meio de registro qualitativo.

Quadro 32. Atividades econômicas agrupadas pelas Seções CNAE responsáveis por introduzir poluentes nas coleções hídricas e, dentre eles, metais pesados nas UHPs da RH V – Baía de Guanabara.

UHP		Seção CNAE																
		A				B	C	E	F	G	H	J	M	O	P	Q	R	S
		Agricultura	Pecuária	Pesca	Maricultura	Mineração	Indústria de transformação	Saneamento	Construção civil	Reparação veículos automotores	Transporte	Informação e comunicação	Atividades profissionais científicas e técnicas	Administração pública e defesa	Educação	Saúde humana e serviços sociais	Artes, cultura, esporte e recreação	Outras atividades e serviços
V-a	Rios Iguaçu e Saracuruna			■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
V-c1	Rios Pavuna-Meriti, Faria-Timbó e Maracanã, Ilha do Governador e Ilha do Fundão	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
V-d1	Rio Macacu	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
V-d2	Rios Guapimirim, Caceribu, Guaxindiba e Ilha de Paquetá	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

4.3.2. Região Hidrográfica II – Guandu/Baía de Sepetiba

4.3.2.1. Histórico da ocupação e características populacionais

A região da Baía de Sepetiba, como resultado da expansão da lavoura canavieira desde os tempos coloniais e consequente implantação de portos fluviais e marítimos, tem sofrido alterações no território das bacias hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim, principais corpos d'água (ANA, 2005) (Dourado et al., 2012).

A partir da década de 1970, a região contígua à Baía de Sepetiba tornou-se o mais importante polo de crescimento econômico da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. E, com a implantação do Porto de Sepetiba, atual Porto de Itaguaí, que passou a operar no início de 1982, suas características originais foram irreversivelmente alteradas (Dourado et al., 2012).

Em decorrência, a região passou a enfrentar diversos problemas relacionados à poluição causada pelo lançamento de substâncias tóxicas nos cursos d'água que deságuam na Baía, adicionalmente à deposição atmosférica (Pedlowsky, 1991; Lacerda et al., 1987; Lacerda et al., 2002; Barcellos e Lacerda, 1994, citados por Rocha et al., 2010).

A cronologia dos principais eventos que determinaram a configuração atual do sistema hídrico e sedimentar da região tem como seus principais marcos, de acordo com Herms e Gurgel (2012):

- retificação e construção de canais de drenagem – 1935/1945 (SEMA, 1998; Forte, 1996);
- transposição de águas do Rio Paraíba do Sul para o Rio Guandu – 1962 (SEMA, 1998);
- construção do Porto de Sepetiba, com aterro do Saco do Engenho – 1976/1982 (Multiservice, 1991);
- extravasamento de 50 milhões de litros de água e lama do dique da Cia. Ingá – 13/02/96 (Melo, 1996); e
- aterro da retroárea de expansão do porto – 1997/1998.

Ao considerar a ocupação do setor oeste da Baía de Sepetiba, a região leste

apresenta grande contraste em decorrência das características do processo de desenvolvimento atrelado à expansão urbano-industrial da metrópole do Rio de Janeiro e, desde a segunda metade do século XX, consolidando a imagem de uma região de grandes problemas sociais, de violência urbana e ambientais a se fazerem presentes até a atualidade (Consórcio CKC Cobrape, 2011).

No que respeita aos aspectos populacionais, os 15 municípios parcial ou totalmente inscritos na RH II congregavam, em 2010, aproximadamente 7,85 milhões de habitantes residentes. Destes, 7,78 milhões residiam em áreas urbanas e somente 67,4 mil em áreas rurais, com taxa de urbanização de 99,1% (PROFILL Engenharia, 2017a).

O maior município da RH II em termos populacionais é o Rio de Janeiro, também inscrito na RH V – Baía de Guanabara, seguido por Nova Iguaçu, Barra do Piraí, Japeri e Seropédica, para citar aqueles com mais de 70.000 habitantes, Quadro 33.

A estimativa da população residente nos municípios total ou parcialmente inscritos no território da RH II – Guandu pode ser visualizada no Quadro 33.

Já a previsão para a população residente nos limites da RH II – Guandu, nos municípios total e parcialmente inscritos, é apresentada no Quadro 34.

A diferença no total de habitantes residentes no território da RH II – Guandu apresentada nos Quadros 34 e 35 decorre das aproximações adotadas ao utilizar os Setores Censitários do IBGE, que, ao considerar os limites territoriais, não guardam relação com os divisores das bacias hidrográficas e das UHPs (PRH-BIG, 2018a).

E a população estimada para cada uma das UHPs da RH II é listada no Quadro 35.

Quadro 33. População estimada dos municípios que fazem parte da RH II – Guandu. Fonte: Censo Demográfico IBGE (2010), citado por PERH Guandu (2017).

Município	População			Taxa de urbanização	% do Total RH II
	Urbano	Rural	Total		
Barra do Piraí	91.957	2.821	94.778	97,0%	1,2%
Engenheiro Paulo de Frontin	9.523	3.714	13.237	71,9%	0,2%
Itaguaí	104.209	4.882	109.091	95,5%	1,4%
Japeri	95.492	-	95.492	100,0%	1,2%
Mangaratiba	32.120	4.336	36.456	88,1%	0,5%
Mendes	17.701	234	17.935	98,7%	0,2%
Miguel Pereira	21.501	3.141	24.642	87,3%	0,3%
Nova Iguaçu	787.563	8.694	796.257	98,9%	10,1%
Paracambi	41.722	5.402	47.124	88,5%	0,6%
Piraí	20.836	5.478	26.314	79,2%	0,3%
Queimados	137.962	-	137.962	100,0%	1,8%
Rio Claro	13.769	3.656	17.425	79,0%	0,2%
Rio de Janeiro	6.320.446	-	6.320.446	100,0%	80,5%
Seropédica	64.285	13.901	78.186	82,2%	1,0%
Vassouras	23.199	11.211	34.410	67,4%	0,4%
Total	**7.782.285**	**67.470**	**7.849.755**	**99,1%**	**100,0%**

Quadro 34. População estimada por município residente no território da RH II – Guandu. Fonte: Censo Demográfico IBGE (2010), citado por PERH Guandu (2017).

Município	População estimada (2010)			% residente na RH II			Taxa de urbanização	% RH II
	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total		
Engenheiro Paulo de Frontin	3.704	9.475	13.179	100	100	100	71,9	0,7
Itaguaí	4.868	104.066	108.934	100	100	100	95,5	5,8
Japeri	0	93.253	93.253	-	100	100	100	5
Mangaratiba	4.300	28.385	32.685	99	89	90	88,1	1,9
Paracambi	5.089	40.922	46.011	100	100	100	88,9	2,5
Queimados	0	137.760	137.760	-	100	100	100	7,3
Seropédica	13.890	63.606	77.496	100	100	100	82,1	4,1
Rio Claro	3.126	13.345	16.471	86,2	97,1	94,8	81	0,9
Mendes	234	16.042	16.276	100	90,7	90,8	98,6	0,9
Piraí	3.423	14.672	18.095	65,6	70,6	69,6	81,1	1
Barra do Piraí	123	30.410	30.533	4,4	33,1	32,3	99,6	1,6
Miguel Pereira	2.711	4.115	6.826	87,7	19,2	27,8	60,3	0,4
Nova Iguaçu	3.001	200.599	203.600	34,6	25,5	25,6	98,5	10,8
Rio de Janeiro	0	1.071.061	1.071.061	-	17	17	100	57,1
Vassouras	498	0	498	4,5	0	1,5	0	0,03
Total	**44.992**	**1.831.319**	**1.876.311**	**61,8**	**23,2**	**23,5**	**97,6**	**100**

Quadro 35. População estimada para cada UHP. Fonte: Censo Demográfico. Distribuição proporcional à área dos setores censitários, 2010, citado por (PERH Guandu, 2017).

UHP		População em 2010			Percentual %			Taxa de urbanização
		Rural	Urbana	Total	Rural	Urbano	Total	
1	Rio Piraí - montante Reservatório Santana	3.108	18.963	22.071	6,9	1	1,2	85,9
2	Rio Piraí – jusante Reservatório Santana	4.010	58.069	62.079	8,9	3,2	3,3	93,5
3	Ribeirão das Lajes - montante reservatório	840	493	1.333	1,9	0	0,1	37
4	Ribeirão das Lajes - jusante reservatório	8.027	46.812	54.839	17,8	2,6	2,9	85,4
5	Rios Santana e São Pedro	4.399	20.641	25.040	9,8	1,1	1,3	82,4
6	Rios Queimados e Ipiranga	2.185	325.149	327.334	4,9	17,8	17,4	99,3
7	Rio Guandu	752	30.284	31.036	1,7	1,7	1,7	97,6
8	Canal de São Francisco	2.086	23.255	25.341	4,6	1,3	1,4	91,8
9	Rio da Guarda	13.891	138.388	152.279	30,9	7,6	8,1	90,9
10	Rio Guandu-Mirim	111	790.547	790.658	0,2	43,2	42,1	100
11	Bacias Litorâneas (MD)	3.187	34.107	37.294	7,1	2,1	2,2	92,2
12	Bacias Litorâneas (ME)	-	340.461	340.461	0	18,6	18,1	100
13	Ilhas e Restinga de Marambaia	2.371	542	2.913	5,3	0	0,2	18,6
Total Geral		**44.967**	**1.827.711**	**1.872.678**	**100**	**100**	**100**	**97,6**

Segundo as informações do último censo demográfico do IBGE, utilizadas para elaboração do Plano Estratégico de Recursos Hídricos (PERH) da RH II – Guandu, em 2005, aproximadamente um milhão de pessoas reside nas áreas abarcadas pelas bacias hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim. Desse contingente, menos de 10% é servida por rede do tipo separador absoluto, Figura 91, e menos de 1% do esgoto coletado passa por algum tipo de tratamento. (Dourado et al., 2012).

Ao considerar a totalidade da RH II, e exceptuando-se o Rio de Janeiro, o índice médio de esgoto coletado na RH II atinge 34,0%, enquanto os índices de tratamento caem radicalmente, atingindo 0,8% do esgoto gerado e 2,3% do esgoto coletado. O restante dos efluentes gerados e não coletados, Figura 91, é lançado *in natura* nos corpos d'água da região (Dourado et al., 2012; PROFILL Engenharia, 2018).

Já no que diz respeito à população residente em habitações subnormais e, em decorrência, não atendida pelo saneamento básico, não foram identificadas, nas fontes consultadas, informações relacionadas ao número e localização espacial dos grupamentos populacionais sabidamente existentes. Em aglomerações com as características citadas, ocorre, regularmente, lançamento de grande carga de esgoto doméstico e lixo nas redes de drenagem, além de efluentes de atividades comerciais

e de serviços porventura presentes (Dourado et al., 2012).

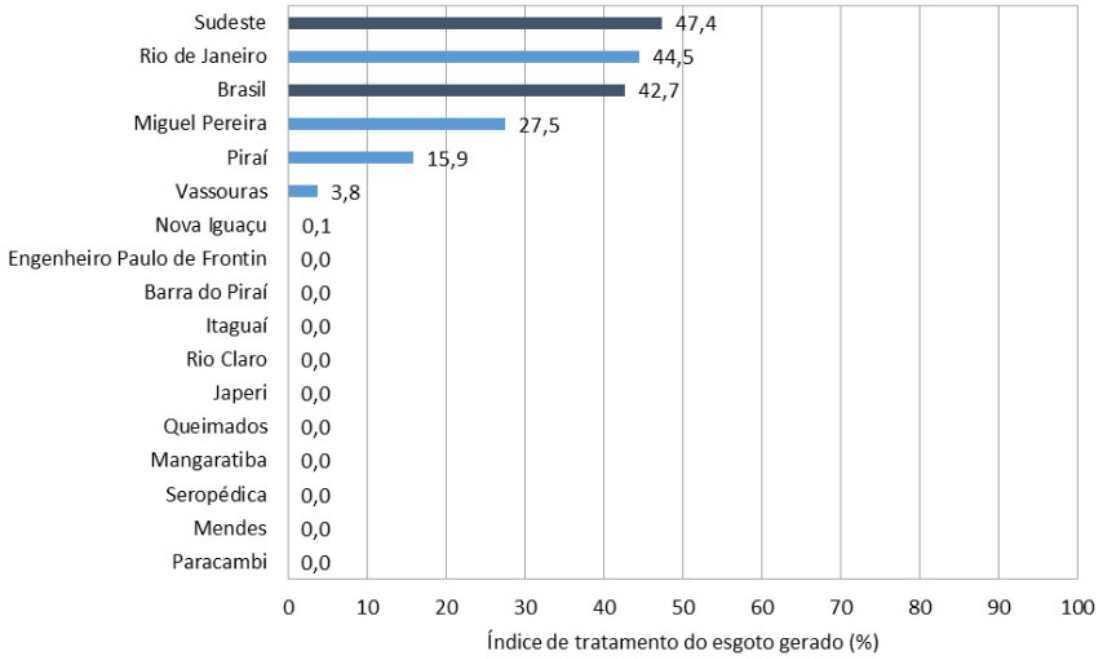


Figura 91. Índice de coleta de esgoto nos municípios da RH II em comparação com a Região Sudeste, Rio de Janeiro e Brasil. Fonte: SNIS (2012, 2014, 2015), citados por PROFILL Engenharia (2017a).

Com relação aos resíduos sólidos gerados pelos domicílios, os municípios da RH II enviam, anualmente, para os Centros de Tratamento de Resíduos (CTR) de Paracambi e Seropédica, Aterro Sanitário de Barra Mansa, CTR Nova Iguaçu e Aterro Consorciado Vale do Café – CONVALE, aproximadamente 3,83 milhões de toneladas de resíduos sólidos, com destaque para o Rio de Janeiro, que, a despeito de estar parcialmente inscrito no território da RH II, destina cerca de 3,15 milhões de toneladas/ano no CTR Rio, localizado dentro dessa RH, em Seropédica, na UHP Rio da Guarda (SNIS, s/d; SEA, 2014, citados por PROFILL Engenharia, 2017b).

Adicionalmente aos CTR e aterros citados, ainda existem lixões ativos nos municípios de Engenheiro Paulo de Frontin, Itaguaí, Japeri, Mangaratiba, Miguel Pereira, Nova Iguaçu, Seropédica e Vassouras. Enquanto em Barra do Piraí, Mendes e Rio de Janeiro existem aterros controlados (PROFILL Engenharia, 2017a).

No que tange à drenagem urbana e manejo das águas pluviais, o foco está direcionado para os locais passíveis de sofrer alagamentos, enchentes, inundações, enxurradas e deslocamento de massa capazes de atingir, deslocar e resultar em fatalidades à população exposta nas regiões afetadas.

Mas, adicionalmente à necessária atenção para os perigos e riscos que esses eventos oferecem à vida humana e bens materiais, a carga de poluentes carreada para os corpos d'água e ambientes não desperta maior interesse junto às instituições e gestores públicos da região.

Com relação aos corpos d'água assoreados, o Inea desenvolveu o Programa Limpa Rio com o objetivo de manter e limpar o leito e margens dos rios no Estado do Rio de Janeiro (PROFILL Engenharia, 2017.ª), que, por um lado, busca assegurar a vazão e fluidez dos corpos d'água e, na outra mão, disponibiliza poluentes e resíduos sólidos que se encontravam imobilizados nos depósitos sedimentares dragados.

4.3.2.2. Cobertura e uso da terra

No que diz respeito às atividades econômicas e uso da terra na RH II, o mapeamento realizado identificou 11 classes de uso e ocupação da terra, Quadro 36 e Figura 92, destacando-se, dentre elas, três principais – floresta, pastagem e área urbana – a cobrir 92% do território. (PROFILL Engenharia, 2017b).

O setor agropecuário está presente em 13 municípios, excetuando-se Rio de Janeiro e Nova Iguaçu, por não apresentarem esse tipo de atividade, representando menos de 1% do PIB da RH II (PROFILL Engenharia, 2017b).

As atividades agrícolas e pecuárias estão focadas, principalmente, em pastagens (36% do território da RH II), lavoura temporária com predomínio de mandioca e cana-de-açúcar em área correspondente a 2%, silvicultura, principalmente eucalipto (1,3%), e lavoura permanente, com banana, coco-da-baía, café e cítricos em 0,69% do território (PROFILL Engenharia, 2017a).

Quadro 36. Área (km^2) ocupada por diferentes classes de uso do solo nas UHPs da RH II, em ordem decrescente de participação, ano 2016. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).

Classes	UHP													Total	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
	Rio Piraí montante	Rio Piraí jusante	Rib. da Lajes montante	Ribeirão das Lajes jusante	Rios Santana e São Pedro	Rios Queimados e Ipiranga	Rio Guandu	Canal de São Francisco	Rio da Guarda	Rio Guandu-Mirim	Bacias Litorâneas (MD)	Bacias Litorâneas (ME)	Ilhas e Restinga de Marambaia		
Floresta	261	195	198	166	249	59	4	2	89	39	233	59	51	1.605	43,25%
Pastagem	289	200	94	163	162	110	42	12	143	65	23	36	4	1.343	36,18%
Área urbana	5	13	0	12	7	78	13	15	61	146	18	88	1	457	12,32%
Lavoura temporária					2			4	64	4				74	2,00%
Água	0	6	29	4	0	2	2	3	9	1	1	1	4	62	1,67%
Silvicultura	36	7	0		3	0			2					48	1,30%
Mangue		0		0		0	0	0	4	4	1	29	7	46	1,25%
Área descoberta	1	1	0	1	1	1	1	2	6	1	0	1	24	40	1,07%
Lavoura permanente								3	8	4	11			26	0,69%
Mineração						1	1		4		0			6	0,16%
Dunas	0	0	0	0		0	0	0	1	0	0	0	2	4	0,12%
Total	**592**	**422**	**321**	**345**	**425**	**250**	**64**	**41**	**393**	**263**	**288**	**214**	**94**	**3.711**	**100,00%**

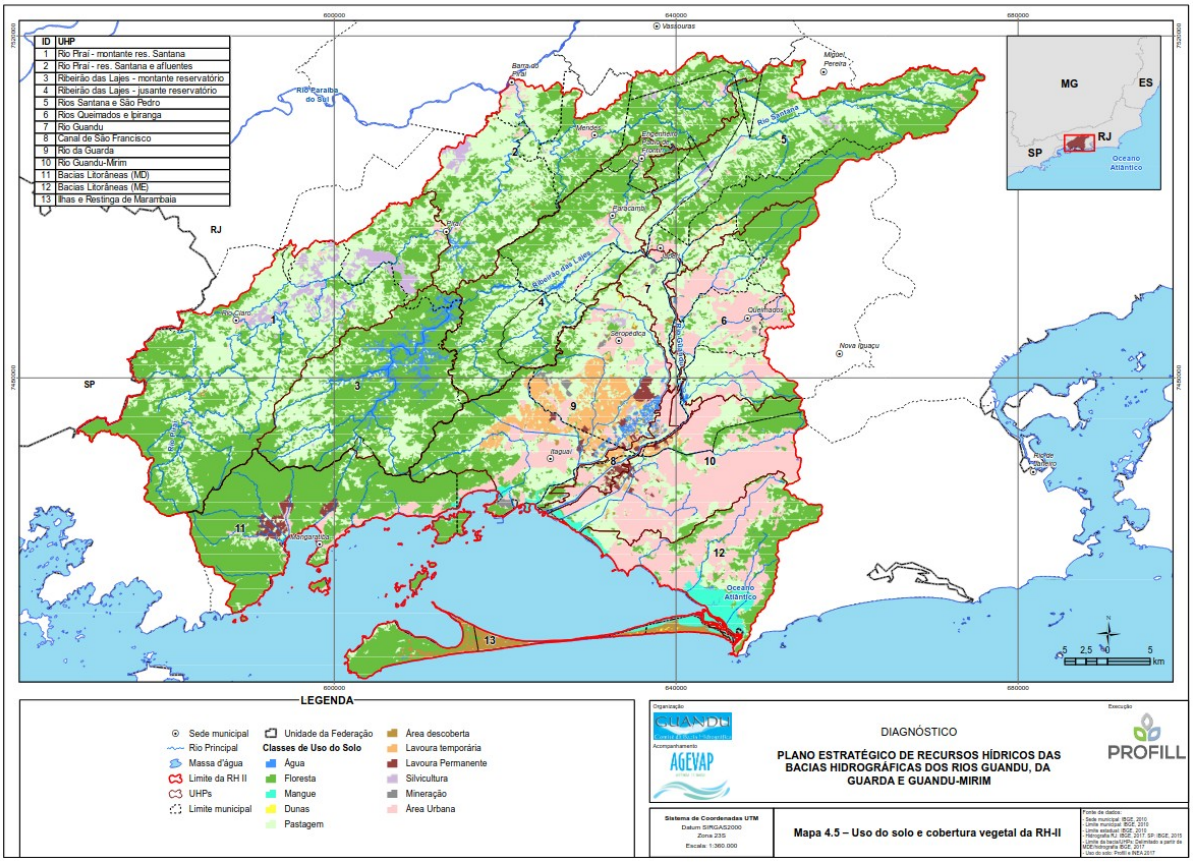


Figura 92. Uso da terra e cobertura vegetal na RH II – Guandu. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).

O setor minerário concentra-se no “Polígono de Piranema”, situado no distrito areeiro de Itaguaí/Seropédica, na UHP do Rio da Guarda, considerado o principal fornecedor de areia para construção civil do estado do Rio de Janeiro, com mais de 70% do total consumido (PROFILL Engenharia, 2018).

Constata-se, ainda, extração de argila, calcário, caulim, gnaisse, ilmenita e saibro, dentre outros minerais não ferrosos, com muito menor expressão.

Ressaltando que as atividades mineradoras produzem cerca de dois milhões de metros cúbicos anuais de areia e brita – 60% do total produzido no estado –, utilizam 0,16% do território e resultam em sérios impactos ambientais negativos, dos tipos físicos e químicos, para a qualidade das águas (Erthal et al., 2008, citados por Dourado et al., 2012).

A mineração de areia é responsável por mudanças físico-químicas das águas presentes nas lagoas de cava e, consequentemente, na água subterrânea (Marques et al., 2012).

Ao considerar as características e principais distúrbios e impactos ambientais no território das UHPs, algumas delas foram agrupadas para o Plano de Bacia Hidrográfica. E são sinteticamente registradas a seguir:

- UHPs 1 e 2 na porção alta da bacia - predominância de áreas agrícolas com pastagens e comprometimento das APPs dos cursos d’água em decorrência do uso da terra, resultando em diminuição da qualidade das águas superficiais. Compartimento em boa situação tanto no quesito ambiental como para os recursos hídricos;
- UHPs 3, 4 e 5 na área intermediária - apresentando predomínio de áreas com vegetação natural com conexões e remanescentes vegetais, incluindo Unidades de Conservação. A UHP 4 desperta a atenção quanto ao uso da terra nas APPs dos cursos d'água e comprometimento da qualidade da água superficial, com riscos de inundação, tal qual na UHP 5. Pode ser considerado com muito boas condições tanto ambientais como para os recursos hídricos, a despeito de problemas que interferem com a qualidade e quantidade da água em algumas situações;

- UHPs 7 e 8 na calha fluvial principal da RH II – apresentando situação muito preocupante em decorrência do uso da terra nas APPs de cursos d'água, balanço hídrico crítico com problemas relacionados à drenagem na UHP 8 e, em situações de baixa vazão, penetração da cunha salina. A qualidade, tanto das águas superficiais como subterrâneas, encontra-se comprometida na porção inferior desse segmento;
- UHPs 6, 10 e 12 na porção a leste da calha fluvial principal – reunindo elevado contingente populacional e importantes atividades industriais e econômicas por estar incluída na RMRJ. Ocorre lançamento de elevada carga de poluentes orgânicos e inorgânicos, resíduos sólidos, além de alta demanda de água para abastecimento humano e industrial, resultando, em algumas situações, em balanço hídrico crítico, além do comprometimento das águas superficiais e subterrâneas;
- UHPs 9 e 11 na região situada a oeste da calha fluvial principal - grande diversidade de situações, desde o predomínio de área antropizada, uso da terra nas APPs dos cursos d'água, presença do Centro de Tratamento de Resíduo (CTR) Rio em Seropédica, com riscos de contaminação da água superficial e subterrânea, além de intensa atividade minerária. Ainda que na UHP 11 ocorram regiões com vegetação nativa conectada entre si, com remanescentes de vegetação e UCs, aliado a intenso crescimento populacional em face da expansão urbana, já comprometendo a qualidade das águas superficiais, além de, adicionalmente, intensificar riscos de inundações e
- UHP 13, configurando unidade espacial segregada das demais - com alta diversidade de ambientes costeiros, baixa densidade populacional e condições ambientais satisfatórias, onde ocorrem atividades militares (PROFILL Engenharia, 2017c).

Com relação às atividades industriais, a avaliação da carga de poluentes lançados pelas indústrias presentes no Vale do Paraíba, parte da qual transferida para o Rio Guandu, e Região Metropolitana do Rio de Janeiro, na área drenante

para a Baía de Sepetiba, identificou como mais significativas as que provinham de indústrias do setor metalúrgico, siderúrgico, químico, têxtil, papel e alimentos, além de refinarias de petróleo (Souza et al., 1980).

Barcellos e Lacerda (1994) informam que as atividades industriais com papel destacado na contaminação por metais pesados na RH II, e principalmente cádmio e zinco, estão afeitas aos setores metalúrgico, químico e papel, além de indústrias gráficas, que restringem as possibilidades de introdução de metais no meio por parte dos diversos tipos de atividades presentes, no início da década de 1990, Quadro 37.

Quadro 37. Principais atividades econômicas na Região Hidrográfica II – Guandu/Baía de Sepetiba, no início da década de 1990. Fonte: Barcellos; Lacerda (1994).

Atividade		**Num. Atividades**	**Total / ano**	**Unidade**
Fundição	Fe	3	1.102.000	ton.
	Al	2	98.500	
	Zn	1	36.000	
Indústria	Papel / gráfica	5	534.000	
	Química	16	176.900	
	Metalúrgica / mecânica	19	33.370	
	Plástica / pneus	3	30.900	
	Alimento e bebidas	8	16.700	
	Outras (elétrica, não metálica e construção)	13	7.200	
Geração energia (termoelétrica)		1	160	MW
Portos e navegação (imp. e exp. carvão, minério de ferro e aço)		1	19.000.000	ton.
Agricultura (banana, mandioca e batata, princ.) e pesca		-	10.500	ton.
Total		**72**		

A implantação e ampliação do polo industrial nessa região a partir da década de 1970, bem como os impactos ambientais e sociais negativos decorrentes, podem ter as principais iniciativas agrupadas em quatro principais fases, ou ciclos, que se sucedem complementarmente:

1. Implantação da Companhia Ingá Mercantil;
2. Instalação do Porto de Itaguaí;
3. Instalação do Porto da TKCSA
4. Instalação do Porto Sudeste (MMX-LLX) e Estaleiro da Base Naval (EBN), de acordo com Lopes (2013).

Como resultado desse processo, o parque industrial presente na Região Hidrográfica II – Guandu/Baía de Sepetiba conta com mais de 100 indústrias ativas concentradas em oito municípios com destaque para o Rio de Janeiro, Itaguaí e

Queimados.

A implantação desse parque industrial pode ser considerada recente, na medida em que a maior parte delas tem menos de 30 anos, e cerca da metade delas estão ligadas ao setor metalúrgico, enquanto as demais, diversificadas, afeitas à borracha, gráfica e bebidas (Herms; Gurgel, 2012), Quadros 38 e 39.

Quadro 38. Distritos industriais da Região Hidrográfica II – Guandu/Baía de Sepetiba. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b)

Distrito Industrial	Município	UHP		Histórico	Localização	Área (km2)	Perfil de Ocupação	Rios
Queimados	Queimados	6	Rios Queimados e Ipiranga	-	O Distrito está próximo da RJ-109, rodovia estadual que liga a Rodovia Rio-Santos (BR-101), na altura de Itaguaí, à rodovia Presidente Dutra (BR-116), em Queimados.	2,3	Indústrias e Serviços	Rio Camboatá, Rio Queimados e Rio dos Poços
Campo Grande	Rio de Janeiro	10	Rio Guandu-Mirim	-	Avenida Brasil, km 43, cruzamento com a Estrada do Pedregoso no bairro de Campo Grande.	2,5	Indústrias e Serviços	Rio da Prata do Mendanha, Rio do Campinho e Rio dos Cachorros
Paciência	Rio de Janeiro	10	Rio Guandu-Mirim	O Distrito Industrial de Paciência foi criado para realocar grandes empresas instaladas em áreas próximas ao centro urbano. No entanto, a demanda por áreas menores fez surgir um complexo de empresas de médio e de pequeno porte.	Avenida Cesário de Melo, entroncamento com a Avenida Antares, no bairro de Paciência.	0,43	Indústrias	Rio Cação Vermelho
Santa Cruz	Rio de Janeiro	8	Canal de São Francisco	Planejado, inicialmente, para abrigar empresas dos ramos metalúrgico e siderúrgico, o Distrito Industrial de Santa Cruz conta hoje com 16 empresas em operação e 6 em implantação. Na Zona Estritamente Industrial de Santa Cruz, além do Distrito, encontram-se instaladas as indústrias Gerdau e a Companhia Siderúrgica do Atlântico.	Rodovia Rio-Santos, km 6 (BR-101), bairro de Santa Cruz.	6,2	Indústrias e Serviços	Rio Itaguaí, Rio da Guarda, Vala da Divisa e Canal de São Francisco
Palmares	Rio de Janeiro	10	Rio Guandu-Mirim	O Distrito Industrial de Palmares visou à realocação de grandes empresas, instaladas próximas ao centro urbano e a demanda por áreas menores, alterou o projeto inicial para atender empresas de médio e de pequeno porte.	Avenida Brasil, km 50	0,5	Indústrias	-

Quadro 39. Distritos industriais da Região Hidrográfica II – Guandu/Baía de Sepetiba. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).

Setor Produtivo	Unidades
Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	37
Fabricação de produtos alimentícios e bebidas	21
Fabricação de produtos químicos	20
Metalurgia básica	9
Fabricação de produtos de metal - exceto máquinas e equipamentos	7
Fabricação de artigos de borracha e plástico	7
Fabricação de produtos têxteis	3
Confecção de artigos do vestuário e acessórios	3
Reciclagem	3
Fabricação de coque, refino de petróleo, elaboração de combustíveis nucleares e produção de álcool	2
Fabricação de móveis e indústrias diversas	1
Fabricação de máquinas e equipamentos	1
Edição, impressão e reprodução de gravações	1
Fabricação de produtos de madeira	1
Total RH II	**116**

Em ordem de importância, as indústrias que se destacam pelo porte, consumo de água e lançamento de efluentes, Quadro 40.

Quadro 40. Indústrias em ordem de importância quanto à captação de água, lançamento de efluentes e locais de lançamento. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).

Razão Social	UHP de lançamento
Companhia Siderúrgica Nacional	Rio da Guarda
Petroleo Brasileiro SA - Petrobras	Fora da RH II
ThyssenKrupp CSA Companhia Siderúrgica do Atlântico	Rio Guandu-Mirim
Braskem S.A.	Fora da RH II
Companhia de Bebidas das Américas	Rio Piraí – reservatório Santana e afluentes
ThyssenKrupp CSA Companhia Siderúrgica do Atlântico	Canal de São Francisco
ThyssenKrupp CSA Companhia Siderúrgica do Atlântico	Rio Guandu-Mirim
Gerdau Aços Longos S/A	Rio da Guarda
LAFARGE BRASIL S.A	Rio Guandu-Mirim
Lanxess Elastômeros do Brasil S/A	Fora da RH II
Coquepar - Companhia de Coque Calcinado de Petróleo S.A.	Fora da RH II
Petroflex Industria e Comercio S/A	Fora da RH II
ThyssenKrupp CSA Companhia Siderúrgica do Atlântico	Rio Guandu-Mirim

4.3.2.3. Atividades realizadas no espelho d'água da Baía de Sepetiba

As atividades de pesca congregam cerca de 4.500 pescadores artesanais atuantes na faixa litorânea e espelho d'água da Baía de Sepetiba. De acordo com registros, 1.676 estão ligados à Colônia de Pescadores Z14, sediada em Pedra de Guaratiba, Z-15, Sepetiba, e Z16, Mangaratiba. Enquanto os demais são cadastrados em nove entidades pesqueiras que atuam em diversas localidades da Baía.

Além de um contingente estimado de 8.000 pessoas que vivem ou interagem com a coleta de mexilhão, ostras, caranguejos e siris (TAC Frade, 2026; Lopes, 2013).

Com relação à maricultura, ocorre a produção de mariscos, mexilhões e vieiras nos municípios de Mangaratiba e Itaguaí, em algumas áreas. Bem como o cultivo da alga parda *Kappaphycus alvarezii.*

Na porção nordeste da Baía de Sepetiba localiza-se o Porto de Itaguaí, constituído pela Companhia Portuária da Baía de Sepetiba, Tecar e Sepetiba Tecon, além do Terminal Ilha Guaíba (TIG), a Ternium S.A. (antiga TKCSA), o PSB e a

Companhia Mercantil Ingá, atualmente desativada e responsável por grande passivo ambiental, ocasionado pelo rompimento do dique de contenção de resíduos que contaminou a baía com metais pesados (Coutinho, 2022).

O Porto de Sepetiba, localizado na porção costeira dos municípios de Itaguaí e Mangaratiba, nas imediações da Ilha da Madeira, ocupa área de 10,4 km^2. É administrado pela Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ), atual Portos Rio Autoridade Portuária, e possui terminais para cargas a granel, como minério, carvão, enxofre e bauxita, entre outros, além de contêineres, recebendo navios com até 150.000 toneladas de arqueação bruta (TAB), além de menor porte, alocados na cabotagem (Montezuma, 2007).

É constituído por cais acostável com 2.200 m de extensão, oito berços de atracação, profundidade variando de 13,5 a 18,1 m e calado oscilando entre 14,5 e 18,5 m. É operado em três terminais portuários por Sepetiba TECON, CSN – Companhia Siderúrgica Nacional S/A, CPBS – Companhia Portuária Baía de Sepetiba S/A e Valesul Alumínio S/A (Portos Rio Autoridade Portuária, 2026).

Conta, também, com o Porto Sudeste, operando com granéis sólidos e líquidos, um terminal de uso privado, além do Terminal da Ilha Guaíba, para exportação de minério de ferro e operado pela Companhia Vale (Companhia Vale, 2026; Porto Sudeste, 2026).

4.3.2.4. Indicadores de poluição e contaminação ambiental

No que se refere às áreas contaminadas, distinguem-se como locais onde as concentrações de substâncias químicas introduzidas por atividades antropogênicas estão acima dos valores determinados pela legislação e responsáveis por apresentar risco potencial à segurança, saúde humana e ambiente. Causam restrições ao uso do solo, danos ao patrimônio público e privado, desvalorização de imóveis, dentre outros resultados negativos, em muitos casos não mitigáveis e considerados passivos ambientais (Inea, 2025b).

Na RH II – Guandu, foram cadastrados 28 sítios, Figura 93, a partir da classificação apresentada a seguir:

- Área Contaminada sob Investigação (AI) – comprovadamente, mediante investigação confirmatória, com valores acima dos legais;
- Área Contaminada sob Intervenção (ACI) – constatada presença de substância química em fase livre ou comprovado risco à saúde humana;
- Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR) – com risco tolerável; e
- Área reabilitada para o uso declarado (AR) – onde, após período de monitoramento pelo órgão ambiental competente, foi confirmada a eliminação do perigo ou redução dos riscos a níveis toleráveis (PROFILL Engenharia, 2017b).

As 28 áreas contaminadas situam-se em regiões densamente industrializadas e povoadas, com destaque para os municípios do Rio de Janeiro, com 16, e Queimados, com seis localidades contaminadas.

Dentre as citadas áreas, destaca-se o local anteriormente ocupado pela Cia. Mercantil Industrial Ingá, empreendimento ligado às atividades minerárias e primeira indústria voltada para o processamento de minério para a produção de zinco de alta pureza no Brasil, instalada na Ilha da Madeira, a partir de 1964, com produção iniciada em 1965 (Lopes, 2013; Dourado et al., 2012).

A produção de zinco baseava-se na eletrólise de cádmio e zinco, gerando grande quantidade de resíduos e rejeitos com altas concentrações de metais como Cd, Fe, Mn, Pb, Cr, dentre outros, com baixo pH, descartados como efluente no curso d'água nas imediações e acumulados no pátio da empresa, constituindo uma pilha de rejeitos (Dourado et al., 2012).

Posteriormente, em 1974, passou a produzir cádmio além de zinco (Silva Sá, 1999, citado por Lopes, 2013).

Para receber o volume de resíduos e rejeitos acumulados, foi construído, em 1984, um dique de material argiloso no perímetro delimitante da área de 40.000 m^2, sem nenhum tipo de impermeabilização, onde foram acumulados cerca de 430.000 m^3 de efluentes e resíduos com altas concentrações de Zn (824 mg/l) e Cd (2,9

mg/l), segundo Anselmo (2011), citado por Lopes (2013).

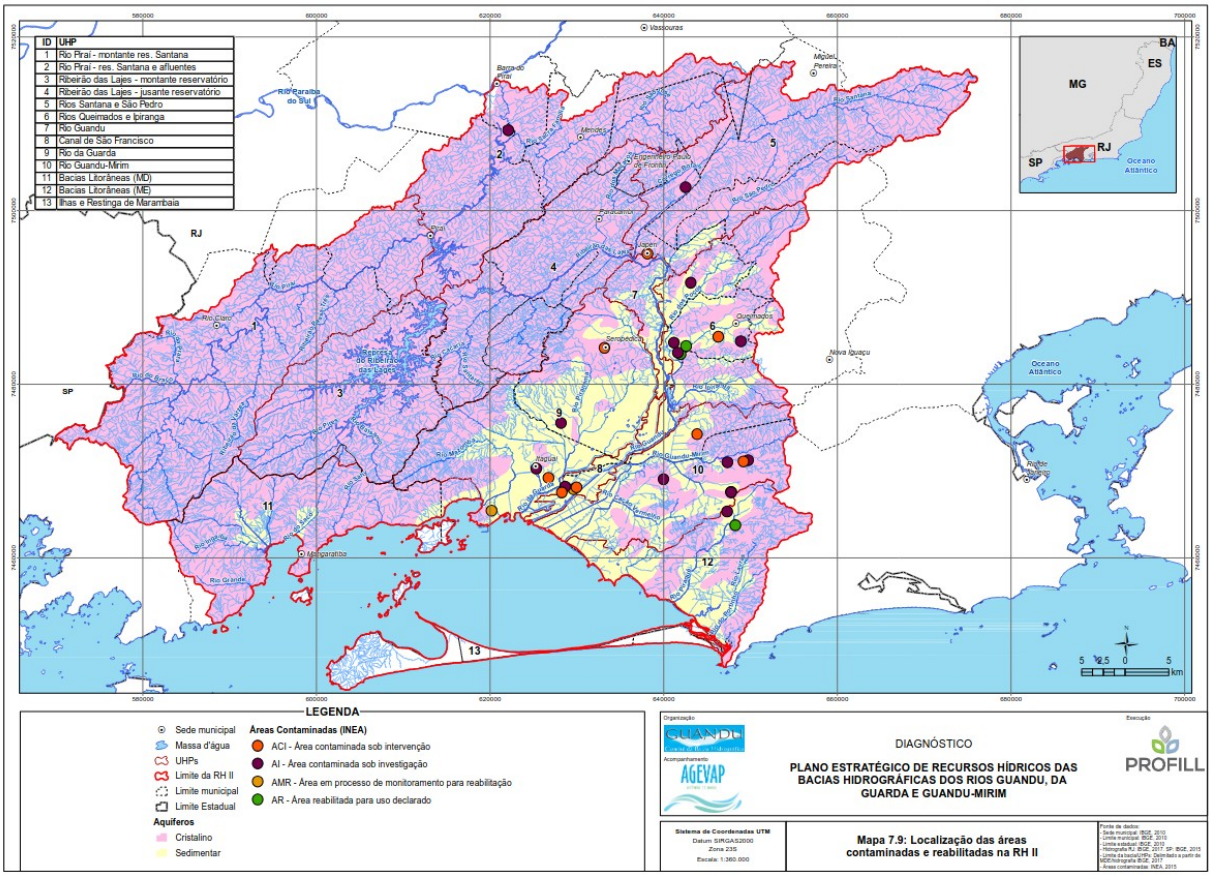


Figura 93. Localização das áreas contaminadas e reabilitadas na RH II. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).

Em 1996, devido a fortes chuvas na região, o dique de contenção rompeu-se, liberando para o Rio de Guarda e Baía de Sepetiba parte dos rejeitos e os efluentes acumulados ao longo da sua operação, responsáveis por grande desastre ambiental. Análises de tecidos de moluscos registraram contaminação por zinco e cádmio em níveis até 60 vezes mais elevados do que os admitidos por Portarias do Ministério da Saúde (Leite Lopes, 2004, citado por Lopes, 2013).

Como consequência da discordância dos resultados apresentados pela FEEMA, o então Secretário Estadual de Meio Ambiente não considerou que o desastre ocorrido fosse tão grave para a água e biota. E, como resultado, a Cia. Ingá não foi interditada, como solicitado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Itaguaí (Leite Lopes, 2001, citado por Lopes, 2013; Rodrigues; Pereira; Santos,

2012).

Em 1997, depois de não honrar diversos compromissos assumidos com a FEEMA, a Cia. Mercantil Ingá iniciou processo de concordata. E, após descartar estimados 3,5 milhões de toneladas de rejeitos com elevada concentração de cádmio, arsênio, chumbo, mercúrio e manganês nas águas da região e Baía de Sepetiba, a empresa teve sua falência decretada em 1998 (Anselmo, 2011; Rodrigues, 2012, citados por Lopes, 2013; Rodrigues; Pereira; Santos, 2012).

Ao considerar a situação das áreas contaminadas, aquelas sob investigação (AI) e sob intervenção (ACI) são as mais comuns, com 15 e oito pontos, respectivamente. As UHP-6 e UHP-10 apresentam sete localidades cada, totalizando 14 delas.

Quanto ao setor econômico, o industrial é o principal responsável, com 12 áreas contaminadas e duas reabilitadas, seguido pelo setor de distribuição e comercialização de combustíveis, com 13 locais cadastrados - 12 deles contaminados e um reabilitado -, além de uma área contaminada relacionada à atividade de aterro de resíduos sólidos (PROFILL Engenharia, 2017b).

Com relação à qualidade da água nos tributários da RH II – Guandu, o Instituto Estadual do Ambiente (Inea) coletou água, entre 2014 e 2015, em 28 pontos distribuídos nos cursos d'água, cujos resultados são utilizados para caracterizar a qualidade da água nos pontos coletados por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA), como informa PROFILL Engenharia (2017b).

Os resultados obtidos para os 28 pontos de coleta, Figura 94, são sintetizados no Quadro 41.

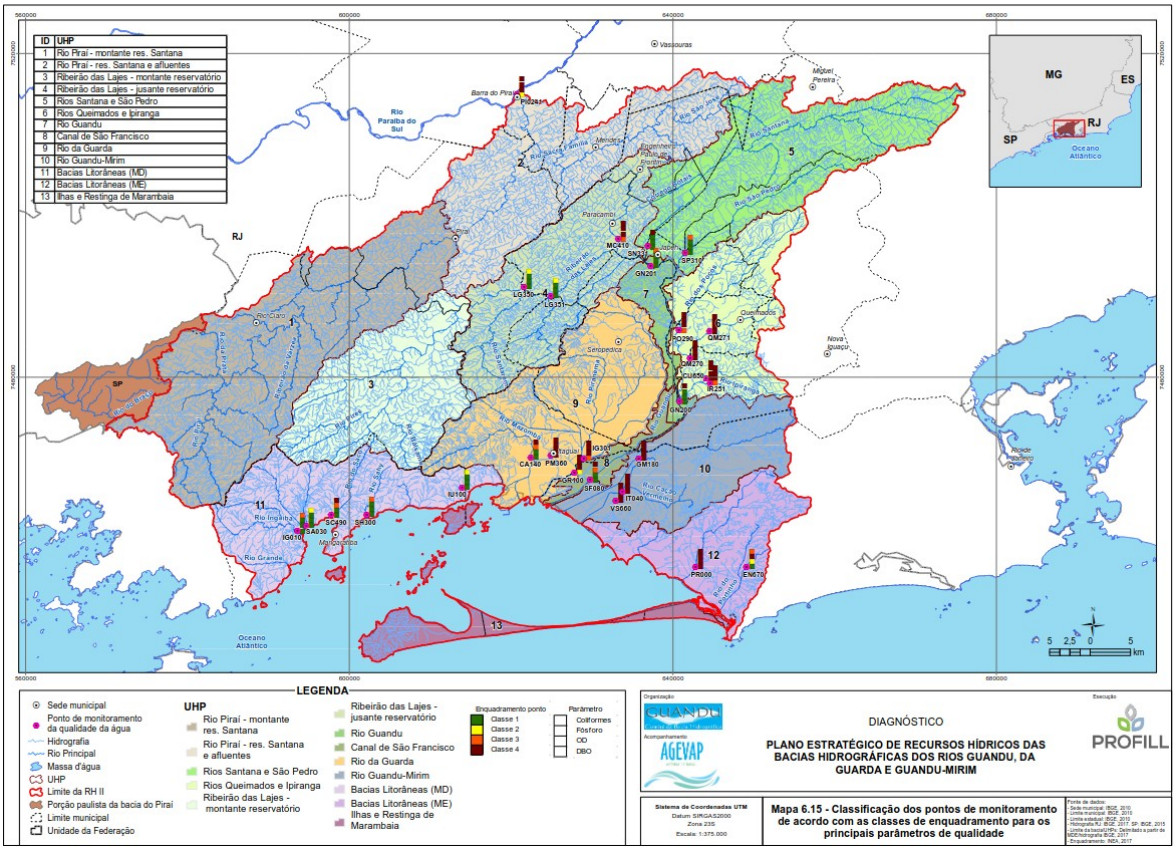


Figura 94. Pontos de coleta de água para monitoramento e classificação da qualidade de acordo com OD, DBO, P Total e Coliformes Termotolerantes na RH II – Guandu. Fonte: PROFILL Engenharia (2017c).

Quadro 41. Classificação dos pontos de coleta para monitoramento da qualidade da água, considerando as classes de enquadramento definidas na Resolução CONAMA n.° 357/2005. Fonte: PROFILL Engenharia (2017b).

Bacia	UHP	Cód. INEA	Curso d'água	DBO	OD	Fósforo Total	Coliformes	Média
Piraí	1	PI0241	Rio Piraí					
Guandu	4	MC410	Rio Macaco					
		LG350	Ribeirão das Lajes					
		LG351	Ribeirão das Lajes					
	7	GN201	Rio Guandu					
		GN200	Rio Guandu Rio Guandu					
	8	SF080	Canal de São Francisco					
	5	SN331	Rio Santana					
		SP310	Rio São Pedro					
	6	CU650	Rio Cabuçu					
		IR251	Rio Ririí					
		PO290	Rio dos Poços					
		QM270	Rio Queimados					
		QM271	Rio Queimados					
Guarda	9	CA140	Rio Cação					
		PM360	Rio Piranema					
		IG301	Rio Itaguaí					
		GR100	Rio da Guarda					
Guandu-Mirim	10	VS660	Vala do Sangue					
		IT040	Canal do Itá					
		GM180	Rio Guandu-Mirim					
Litorâneas	11	IG010	Rio Ingaíba					
		SA030	Rio Santo Antônio					
		SC490	Rio do Saco					
		SH300	Rio Sahy					
		IU100	Rio Itinguçú					
	12	EN670	Rio Engenho					
		PR000	Rio Perequê					

4.3.2.5. Síntese da Região Hidrográfica II – Guandu e Baía de Sepetiba

A RH II passa a ser mais intensamente impactada a partir das obras para retificação dos canais de vários rios da região, em 1962, visando assegurar a produção de energia elétrica e água para abastecimento na RMRJ a partir da transposição das águas do Rio Paraíba do Sul para o sistema Rio Guandu/Canal de São Francisco. Essas intervenções alteraram o equilíbrio hidrológico e o balanço sedimentar da região, resultando no aumento das descargas de sólidos e assoreamento de partes da Baía de Sepetiba (Ecologus, 2005, citado por Villena et al., 2012).

A qualidade ambiental da RH II, portanto, pode ser expressa como o resultado da integração das características do uso da terra e respectivos impactos ambientais gerados nos seis grandes compartimentos, ou grupos, de UHPs do território emerso, incluindo as formas de uso urbano e industrial, com as atividades realizadas no espelho d'água e substrato da Baía de Sepetiba, incluindo os passivos ambientais previamente existentes (PROFILL Engenharia, 2017a, 2017b).

A Baía de Sepetiba, em conjunto com a Baía de Guanabara e graças à configuração confinada das águas, distinguem-se como as localidades que apresentam os maiores níveis de contaminação por metais pesados do Brasil (Herms; Gurgel, 2012).

4.3.2.6. Atividades potencialmente introdutoras de metais pesados na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba

A título de complemento, lista-se no Quadro 42 as atividades econômicas com potencial para introdução de metais pesados a partir das emissões, efluentes e resíduos gerados, de acordo com as referências consultadas, agrupadas em Seções definidas pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE).

Essas atividades são qualitativamente indicadas nas Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP) presentes na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Quadro 42. Atividades econômicas agrupadas pelas Seções CNAE responsáveis por

introduzir poluentes nas coleções hídricas e, dentre eles, metais pesados nas UHPs da RH II – Guandu.

UHP	Seção CNAE																
	A				B	C	E	F	G	H	J	M	O	P	Q	R	S
	Agricultura	Pecuária	Pesca	Maricultura	Mineração	Indústria de transformação	Saneamento	Construção civil	Reparação veículos automotores	Transporte	Informação e comunicação	Atividades profissionais científicas e técnicas	Administração pública e defesa	Educação	Saúde humana e serviços sociais	Artes, cultura, esporte e recreação	Outras atividades e serviços
1 Rio Piraí - montante Reservatório Santana	■	■					■	■	■	■	■	■		■	■		■
2 Rio Piraí – jusante Reservatório Santana	■	■					■	■	■	■	■	■		■	■		■
3 Ribeirão das Lajes - montante reservatório	■	■					■	■	■	■	■	■		■	■		■
4 Ribeirão das Lajes - jusante reservatório		■					■	■	■	■	■	■		■	■		■
5 Rios Santana e São Pedro	■	■					■	■	■	■	■	■		■	■		■
6 Rios Queimados e Ipiranga	■	■			■		■	■	■	■	■	■		■	■		■
7 Rio Guandu		■			■		■	■	■	■	■	■		■	■		■
8 Canal de São Francisco	■	■					■	■	■	■	■	■		■	■		■
9 Rio da Guarda	■	■			■		■	■	■	■	■	■		■	■		■
10 Rio Guandu-Mirim	■	■					■	■	■	■	■	■		■	■		■
11 Bacias Litorâneas (MD)		■	■	■	■		■	■	■	■	■	■		■	■	■	■
12 Bacias Litorâneas (ME)		■	■	■			■	■	■	■	■	■		■	■		■
13 Ilhas e Restinga de Marambaia		■	■	■			■		■	■			■		■		

Observações:

1. Seção A – pesca e maricultura realizadas na foz dos rios e, principalmente, no espelho d'água afastado da área de influência desses tributários.
2. Seção B – mineração: a cor cinza claro significa que existem requerimentos minerários na UHP considerada.

4.3.3. Região Hidrográfica I - Baía de Ilha Grande

4.3.3.1. Histórico da ocupação e características populacionais

Por volta de 1690, com a descoberta do ouro nas Minas Gerais, desenvolveu-se um gigantesco processo migratório no país, principalmente externo. Significativa parcela do contingente de migrantes que chegava ao Rio de Janeiro passava, forçosamente, por Paraty, pois seu porto servia de ligação às regiões auríferas (UNACOOP, 2008a).

No princípio do século XVIII, foram tomadas medidas para defesa do Porto do Ouro, da serra e, posteriormente, balizadas as ruas do núcleo urbano inicial, presentes na área central da cidade (UNACOOP, 2008a).

Na segunda metade do século XVIII, com a abertura do “caminho novo” para as Minas Gerais, partindo do Rio de Janeiro e vencendo a Serra dos Órgãos, o percurso foi diminuído em 15 dias e Paraty recebeu o primeiro impacto negativo, ainda que seu porto continuasse apresentando importância até o final do século XIX (Pereira da Silva et al., 2023).

Com a construção das primeiras ferrovias brasileiras a partir de 1850 e, já em agosto de 1864, quando a Estrada de Ferro D. Pedro II atingiu Barra do Piraí para, posteriormente, em 1870, chegar a Guaratinguetá e se tornar o caminho mais rápido e seguro para São Paulo, o quadro é significativamente alterado. Como resultado, é encerrado o período de prosperidade de cidades como Mangaratiba, Paraty e Ubatuba, que, além de escoarem a produção cafeeira, serviam de porta de entrada para grande variedade de manufaturas e produtos de luxo adquiridos pelos cafeicultores do interior do estado de São Paulo e Minas Gerais (UNACOOP, 2008b).

Já a construção da rodovia ligando Paraty a Angra dos Reis e Rio de Janeiro, para leste, e Ubatuba, em São Paulo, para oeste, rompeu o isolamento e Paraty passou a se integrar com os demais municípios do Território da Baía de Ilha Grande e a capital do Estado, de acordo com TCE-RJ (2007) citado por UNACOOP (2011).

São três os municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande; dois deles integralmente, Paraty e Angra dos Reis, e o terceiro, Mangaratiba, com pequena

parcela de sua área, incluindo a área urbana de Conceição de Jacareí, Figura 95,

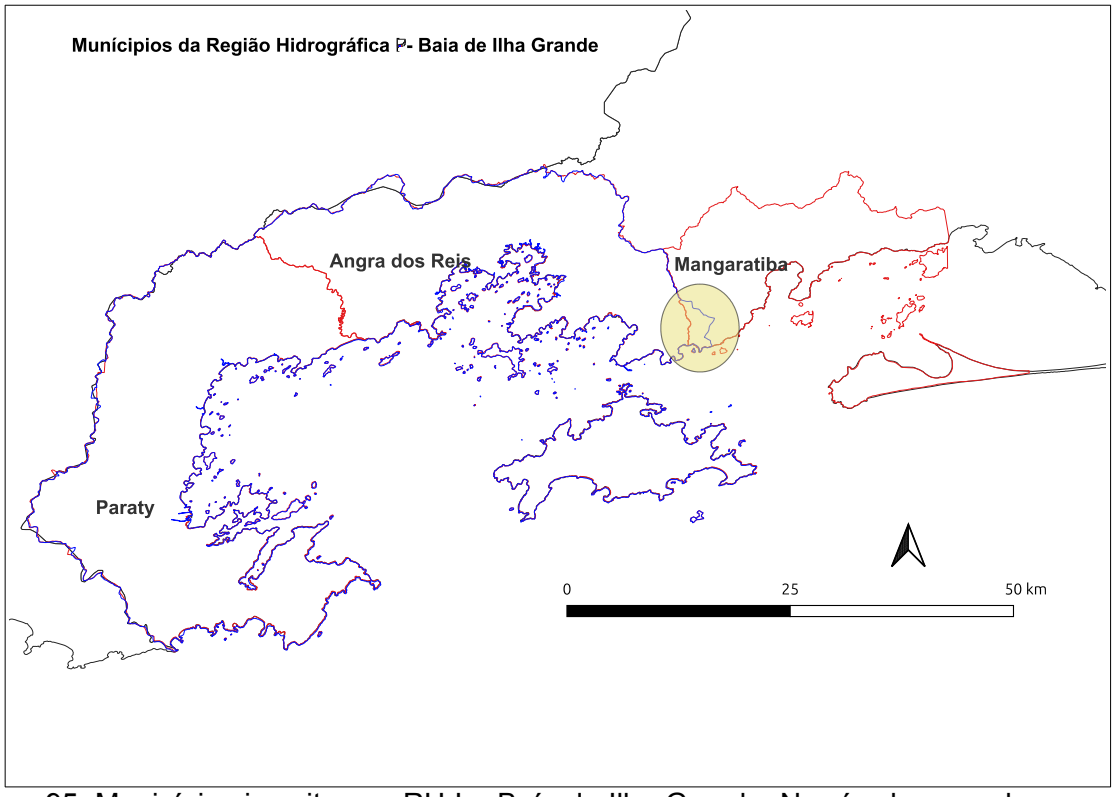


Figura 95. Municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande. No círculo amarelo, a porção do território de Mangaratiba abarcada pela RH I.

Com relação aos aspectos populacionais, territoriais e administrativos, a Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande – BIG congrega, de acordo com o CENSO 2011, 221.814 habitantes residentes em áreas urbanas e 19.991 em área rural, totalizando 241.805 habitantes, Quadro 43, com taxa de urbanização média de 91,73% para os três municípios nela inscritos. Dois deles, Paraty e Angra dos Reis, com o território integral, e o terceiro, Mangaratiba, (PRH-BIG, 2018a).

Quadro 43. População rural e urbana dos municípios da RH I – BIG. Fonte: PRH-BIG (2018).

Município	Rural	Urbano	Total	Taxa de Urbanização	% Total
Angra dos Reis	6.216	162.691	168.907	96,32%	69,85%
Mangaratiba	4.323	31.954	36.277	88,08%	15,00%
Paraty	9.452	27.169	36.621	74,19%	15,14%
Total	**19.991**	**221.814**	**241.805**	**91,73%**	**100,00%**

Individualmente, Angra dos Reis é quem apresenta a maior taxa de urbanização, com 96% da população em áreas urbanas, seguido por Paraty, com

88%, e Mangaratiba, com menos de 74% da população urbanizada (PRH-BIG, 2018a).

A população da RH I, agrupada por Unidade Hidrológica de Planejamento (UHP) em 2010 é apresentada no Quadro 44. E, a população estimada em 2018, no Quadro 45.

Quadro 44. População presente nas UHPs da RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: IBGE, 2010, citado por PRH-BIG (2018).

UHP		População classificada como rural*		População classificada como urbana*		População		Taxa de urbanização*
#	Nome	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	
1	Ponta da Juatinga	2.694	17,17%	36	0,02%	2.730	1,31%	1,32%
2	Rio Paraty-Mirim	3.299	21,02%	93	0,05%	3.392	1,62%	2,74%
3	Rio Perequê-Açú	2.021	12,88%	20.940	10,83%	22.961	10,98%	91,20%
4	Rios Pequeno e Barra Grande	477	3,04%	1.485	0,77%	1.962	0,94%	75,69%
5	Rio Taquari	56	0,36%	2.666	1,38%	2.722	1,30%	97,94%
6	Rio Mambucaba	593	3,78%	22.057	11,40%	22.650	10,83%	97,38%
7	Rios Grataú e do Frade	4	0,03%	14.522	7,51%	14.526	6,95%	99,97%
8	Rio Bracuí	1.655	10,55%	6.531	3,38%	8.186	3,91%	79,78%
9	Rio Ariró	3.144	20,03%	1.737	0,90%	4.881	2,33%	35,59%
10	Rio Japuíba	59	0,38%	84.434	43,65%	84.493	40,40%	99,93%
11	Rio Jacuecanga	1.024	6,52%	26.574	13,74%	27.598	13,20%	96,29%
12	Rio Jacareí	40	0,25%	7.133	3,69%	7.173	3,43%	99,44%
13	Bacias da Ilha Grande	116	0,74%	4.795	2,48%	4.911	2,35%	97,64%
14	Ilhas	512	3,26%	422	0,22%	934	0,45%	45,18%
RH I – BIG		**15.694**	100,00%	**193.425**	100,00%	**209.119**	100,00%	92,50%
População externa à RH I - BIG		4.297	-	28.389	-	32.686	-	86,85%

Observação: *Classificação dos setores censitários de acordo com o IBGE.

Quadro 45. Estimativa da população presente nas UHPs da RH I – Baía de Ilha Grande para 2018. Fonte: IBGE, 2010, citado por PRH-BIG (2018).

UHP		População classificada como rural*		População classificada como urbana*		População		Taxa de urbanização(tendência)
		População estimada para 2018						
#	Nome	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	
1	Ponta da Juatinga	3.060	16,89%	41	0,02%	3.101	1,26%	1,32%
2	Rio Paraty-Mirim	3.747	20,68%	106	0,05%	3.853	1,57%	2,75%
3	Rio Perequê-Açú	2.295	12,67%	23.781	10,45%	26.076	10,62%	91,20%
4	Rios Pequeno e Barra Grande	542	2,99%	1.687	0,74%	2.229	0,91%	75,68%
5	Rio Taquari	64	0,35%	3.028	1,33%	3.092	1,26%	97,93%
6	Rio Mambucaba	683	3,77%	25.988	11,42%	26.671	10,86%	97,44%
7	Rios Grataú e do Frade	6	0,03%	17.168	7,55%	17.174	6,99%	99,97%
8	Rio Bracuí	1.957	10,80%	7.721	3,39%	9.678	3,94%	79,78%
9	Rio Ariró	3.716	20,51%	2.054	0,90%	5.770	2,35%	35,60%
10	Rio Japuíba	67	0,37%	99.823	43,88%	99.890	40,67%	99,93%
11	Rio Jacuecanga	1.212	6,69%	31.420	13,81%	32.632	13,29%	96,29%
12	Rio Jacareí	48	0,26%	8.488	3,73%	8.536	3,48%	99,44%
13	Bacias da Ilha Grande	137	0,76%	5.669	2,49%	5.806	2,36%	97,64%
14	Ilhas	581	3,21%	496	0,22%	1.077	0,44%	46,05%
RH-I		18.115	100%	227.470	100%	245.585	100%	92,62%
Fora da RHI		5.150	-	34.018	-	39.168	-	

*Classificação do IBGE, retirada dos respectivos planos diretores municipais

Dentre as 14 UHPs presentes nos três municípios, a UHP Rio Japuíba é a que apresenta a maior população residente – 84.493, em 2010, e 99.892 estimados em 2018 – concentrada na área urbana, com taxa de urbanização de 99,93%. Tal contingente populacional corresponde a mais de 40% da população da RH I – Baía de Ilha Grande (PRH-BIG, 2018).

Denominada também como Região da Costa Verde, a RH I constitui importante centro turístico do estado do Rio de Janeiro com Angra dos Reis e Paraty, respectivamente, situando-se como o nono e décimo destino turístico do Brasil (PRH-BIG, 2018a).

Com relação à população flutuante – indivíduos e famílias que ocupam sazonalmente domicílios para uso esporádico, incluindo a rede hoteleira - as informações disponíveis para a Ilha Grande estimam afluxo de mais de 40.000 turistas por dia na alta temporada. Em Angra dos Reis, dados compilados apontaram número total de 2.008.520 turistas que transitaram no território municipal em 2017. Já em Mangaratiba, a estimativa foi de 13.000 turistas por ano (PRH-BIG, 2018a).

4.3.3.2. Cobertura e uso da terra

No que diz respeito ao uso e cobertura da terra, as informações foram totalizadas para a RH I – BIG, e não por UHP, Quadro 46 e Figura 96.

Quadro 46. Classes de uso e cobertura da terra na RH I – BIG. Fonte: PRH-BIG (2018b).

Classe de uso	Área (km^2)	Participação na RH I (%)
Floresta secundária em estágio médio a avançado de regeneração	1.462,24	83,19
Pastagens	137,10	7,80
Floresta Secundária em estágio inicial de regeneração	51,09	2,91
Urbano	34,28	1,95
Áreas antrópicas indiscriminadas	21,16	1,20
Formação Pioneira	16,45	0,94
Afloramento rochoso	16,20	0,92
Corpos d'água	13,07	0,74
Cordões arenosos	3,63	0,21
Restinga	1,80	0,10
Sombra/Nuvem	0,79	0,05
Reflorestamento	0,01	0,00

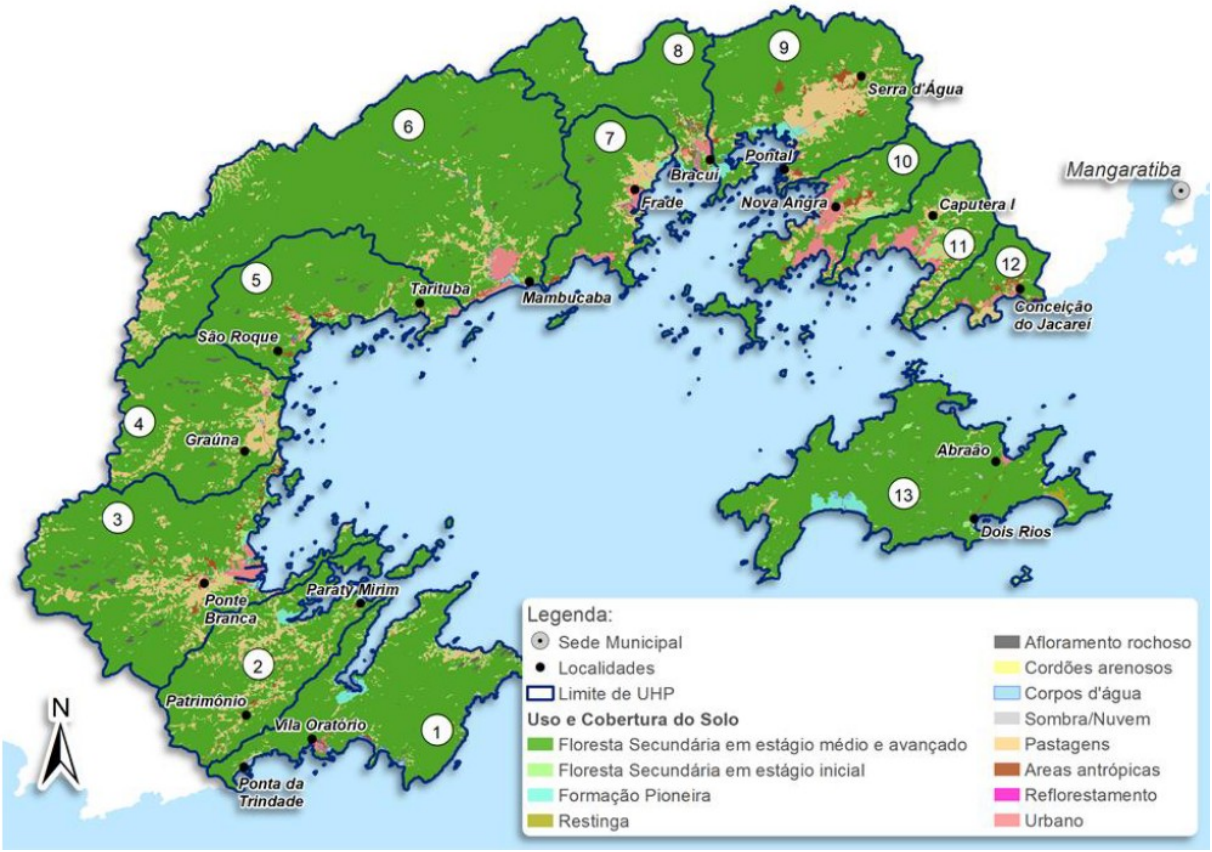


Figura 96. Uso e cobertura da terra na RH I – BIG. Fonte: PRH-BIG (2018b).

Já com relação ao saneamento básico, ocorrem problemas onde a concentração populacional é maior, e as UHPs que despertam a atenção são a UHP 3 – Rios Perequê Açu, onde está situado Paraty; UHP 10 – Japuíba, local do bairro do mesmo nome; e UHP 1 – Jacuecanga, onde se localizam cursos d'água com a qualidade comprometida em decorrência da carga orgânica e poluentes químicos, afeitos às cotidianas atividades urbanas, lançados sem dispor do tratamento necessário (PRH-BIG, 2020a).

Quanto aos resíduos sólidos urbanos coletados nos municípios de Angra dos Reis e Paraty, são destinados ao CTR Costa Verde, localizado na UHP 3 – Rio Ariró, município de Angra dos Reis, apresentando problemas estruturais como cobertura inadequada de alguns taludes e exposição de resíduos à intempérie, erosão devido à chuva e acúmulo de águas pluviais. Recebe, diariamente, 230 toneladas de

resíduos sólidos urbanos na baixa temporada e 290 t na alta temporada (PRH-BIG, 2020a).

A quantidade média de resíduos sólidos domésticos gerados em Angra dos Reis e Paraty, contribuição *per capita*, quantidade coletada declarada, taxa de resíduos coletados e resíduos sólidos não coletados diariamente é apresentada no Quadro 47.

Quadro 47. Resíduos sólidos gerados, destinados e não coletados nos municípios de Angra dos Reis e Paraty. Fonte: adaptado de PRH-BIG (2020a).

Município	População (hab.)		Coletado per capita (kg/hab./dia)	Qtde gerada (ton/dia)	Qtde coletada declarada (ton/dia)	Taxa de resíduos sólidos coletados (%)	RS não coletados (ton/dia)
	Total	Atendida					
Angra dos Reis	191.504	187.504	0,90	172,35	168,33	97,67	4,02
Paraty	40.975	37.228	2,98	122,11	110,99	90,89	11,12
Total	**232.479**	**224.732**	**3,88**	**294,46**	**279,32**	**-**	**15,14**

Por volta de 15 toneladas diárias de resíduos sólidos domésticos produzidos diariamente não são coletados, incluindo aqueles originados por atividades comerciais e de serviços, e dispostos em pequenos lixões, vazadouros, margens e corpos d'água da região.

Já no que se refere à drenagem pluvial urbana, os principais problemas estão afeitos ao acúmulo de resíduos sólidos e sedimento nas seções de escoamento, acarretando diminuição da vazão e capacidade de drenagem. Adicionalmente, o lançamento de esgotos sanitários domésticos, de estabelecimentos comerciais e de serviços com elevada carga poluente nas áreas urbanas contribui para comprometer a qualidade das águas nos corpos hídricos situados a jusante (PRH-BIG, 2020a).

Adicionalmente, o foco na drenagem urbana está direcionado à atenuação e controle de inundações, alagamentos e enxurradas, além de situações de emergências (SE) e estado de calamidade pública (ECP), regulares e comuns nessa RH (PRH-BIG, 2020a)

Tal qual nas demais regiões hidrográficas, não é dedicada maior atenção à carga poluente introduzida pela drenagem urbana nas águas e ecossistemas costeiros.

As atividades agropecuárias na RH I – BIG fizeram parte da matriz econômica e tiveram papel importante na economia dos municípios inscritos ao longo das últimas décadas. Mas a importância foi relegada a papel menos significativo na medida em que outros tipos de empreendimentos passaram a assumir protagonismo na economia (Inea, 2015, citado por PRH-BIG, 2020a).

A produção se concentra em aipim, banana, cana-de-açúcar, coco verde, jiló, milho verde, palmito, quiabo, hortaliças, principalmente.

Com relação à pecuária, há rebanhos bovinos, equinos, suínos, caprinos e ovinos, além de avicultura (PRH-BIG, 2020a).

A mineração é pouco representativa e o mineral mais extraído é areia, seguido de saibro, argila, água mineral, gnaisse, granito e turfa, entre outros com muito menor interesse (PRH-BIG, 2020a).

O parque industrial presente na RH I – Baía de Ilha Grande está voltado para a industrialização de pescado, incluindo produção de gelo para as atividades pesqueiras, em Angra dos Reis, e produção de cachaça em alambiques, a maior parte deles artesanais, em Paraty.

4.3.3.3. Atividades realizadas no espelho d'água da Baía de Ilha Grande

Na RH I – Baía de Ilha Grande, as atividades pesqueiras, sejam artesanais ou industriais, apresentam grande importância econômica ao considerar as quantidades desembarcadas anualmente na região.

Os principais grupamentos populacionais com atividades pesqueiras a configurar locais de desembarque de pescado ocorrem em Angra dos Reis (Perequê, Mambucaba, Frade, Vila Velha, Pontal Leste e Garatucaia), Ilha Grande (Ilha da Gipóia, Saco do Céu, Japariz, Bananal, Sítio Forte, Manguariqueçaba, Abraão, Matariz, Provetá, Aventureiro e Dois Rios), além de Paraty (Trindade, Praia do Sono, Ponta Negra, Cajaíba e Pouso, Saco do Mamanguá, Paraty-Mirim, Ilha do Algodão, Ponta Grossa, Ilha das Cobras e centro de Paraty, Ilha do Araújo, Praia Grande, São Gonçalo e Tarituba), informa Inea (2015).

A ressaltar que, na maioria das localidades citadas, ocorrem concentrações

de embarcações voltadas à pesca, transporte e turismo. Consequentemente, pequenos estaleiros e oficinas para manutenção estrutural, mecânica e elétrica de embarcações, mesmo que atuando informalmente, poderão ser identificados.

A maricultura na RH I – BIG contava, em 2013, com 114 fazendas marinhas na região costeira de Angra dos Reis e Paraty, número que diminuiu ao considerar o número existente em 2007, voltadas para a produção de moluscos (vieiras, mexilhões e ostras), peixes (robalo e beijupirá) e macroalgas *Kappaphycus alvarezzi* (Inea, 2015).

Com relação às embarcações pesqueiras artesanais e industriais, transporte de passageiros e carga, além de turismo, pequenos estaleiros estão distribuídos pela região para construção, reparo e manutenção de embarcações utilizadas pela pesca artesanal e industrial.

O município de Angra dos Reis contava com 14 estaleiros voltados para manutenção de embarcações pesqueiras, Figura 97, enquanto Paraty agrupava 12 estabelecimentos (Inea, 2015).

Com relação às marinas, garagens e clubes náuticos existentes na região, Figura 98, constatou-se carência de estruturas e equipamentos de controle de poluição e, especificamente:

- Estruturas para tratamento de águas servidas, como cobertura, piso, canaleta e sistema separador de água e óleo (SAO);
- Reparo e manutenção de embarcações;
- Gestão de resíduos sólidos e oleosos e
- Sistema sanitário.

O setor de embarcações de esporte e recreio na RH I – BIG constitui o maior polo náutico do Brasil. Como demonstra o número de embarcações cadastradas em Angra dos Reis e Paraty no ano de 2014 e, em decorrência, a importância do setor náutico e os impactos ambientais gerados por essas atividades, Quadro 48.

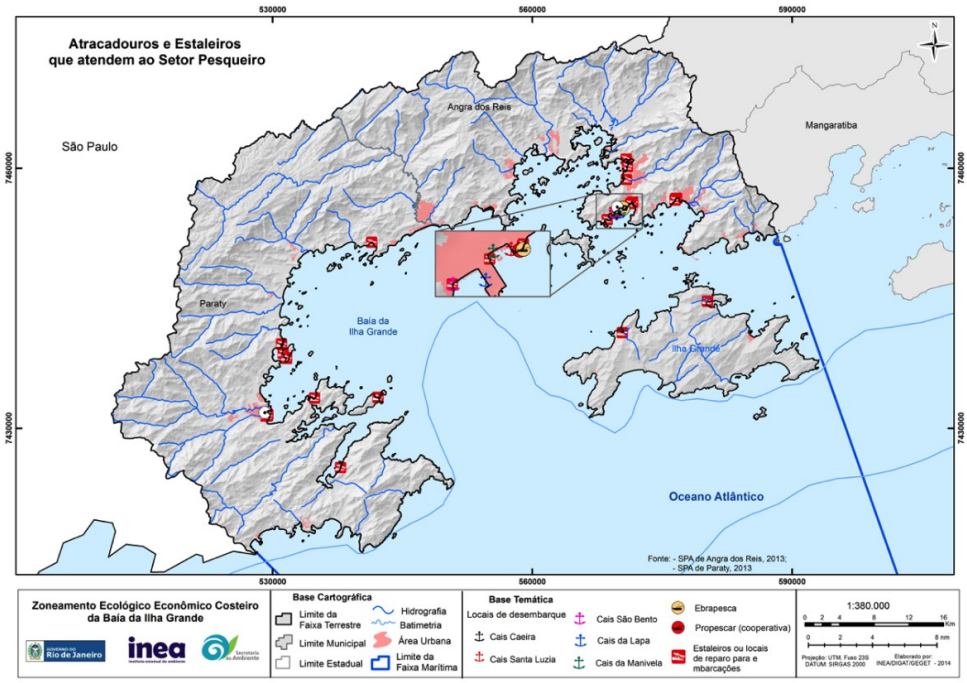


Figura 97. Distribuição de estruturas de apoio náutico (símbolo na cor azul) na RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: Inea (2015).

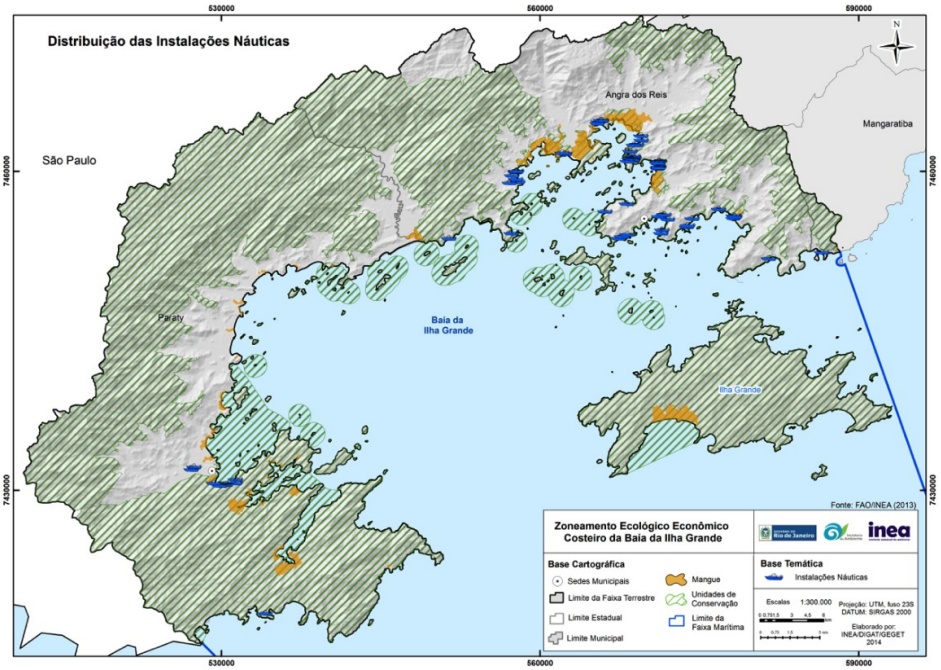


Figura 98. Distribuição de estruturas de apoio náutico (símbolo na cor azul) na RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: Inea (2015).

Quadro 48. Embarcações cadastradas por tipo de atividade nos municípios de Angra dos Reis e Paraty em 2014. Fonte: Diretoria de Portos e Costas (DPC), 2014, citado por Inea, 2015).

Atividade	Angra dos Reis	Paraty	Total
Transporte de passageiros	758	886	**1.644**
Transporte de carga	600	139	**739**
Esporte/ Recreio	8.347	2.133	**10.480**
Pesca	485	810	**1.295**
Total	**10.190**	**3.968**	**14.158**

Quanto às atividades industriais, destaca-se o Estaleiro BrasFELS, situado em Jacuecanga, Angra dos Reis, voltado para reparos offshore e construções de embarcações e plataformas de grande porte. Com capacidade de processar 50 mil toneladas de aço por ano e construir navios de até 300 mil toneladas de porte bruto (TPB), demonstra a sua importância (Inea, 2015).

O Terminal Portuário de Angra dos Reis, localizado na sede do município, é constituído por cais de 400 m de comprimento, bacia de evolução com 320 m de largura, área de pré-embarque, dois berços de 200 m e dois canais de acesso com 12 m de calado, além de armazéns com 5.500 m^2, pátio ao ar livre com 78.000 m^2 e área alfandegada com previsão de ampliação (Inea, 2015).

Incluindo, ainda, o Terminal Marítimo da Baía da Ilha Grande (TEBIG), localizado em Monsuaba, Angra dos Reis, e conhecido como Terminal Aquaviário Almirante Maximiliano Fonseca, ou Terminal Aquaviário de Angra dos Reis (TAAR), operado pela Petrobras Transporte S/A (TRANSPETRO), dispondo de píer com 1.318 m de comprimento e dois berços de atracação, movimentando, em média, 2.800 barris/dia de água de formação, sendo previsto um aumento médio para 5.500 barris/dia, com tancagem de 20.000 m^3.

Ocupa área total de 5.500.000 m^2 em dois setores: uma área para armazenagem de petróleo denominada Área Principal (AP), com capacidade de estocagem de 846.500 m^3, e outra denominada Área de Serviços Auxiliares (ASA), com capacidade de estocagem de 21.000 m^3 de óleo diesel, 89.000 m^3 de óleo combustível e 20.000 m^3 de água de lastro (Inea, 2015).

4.3.3.4. Indicadores de poluição e contaminação ambiental

As regiões que apresentam problemas ambientais, adicionais aos impostos pelas áreas urbanas, são as que congregam atividades industriais como em Jacuacanga, onde se situa o Estaleiro BrasFEL, na sede do município, onde fica o Terminal Portuário de Angra dos Reis S/A e na Ponta do Leste, onde se situa o Terminal Marítimo da Baía de Ilha Grande (TEBIG), além de Mambucaba, onde foi instalada a Central Nuclear de Angra dos Reis, com as Usinas Termonucleares de Angra I e II, em Angra dos Reis, responsável por notável incremento da temperatura da água na região de influência.

Além da grande quantidade de marinas e garagens náuticas distribuídas pelas principais praias e canais da região para atender às demandas geradas pela maior frota de embarcações de esporte e recreio do país (PRH-BIG, 2020a).

E, ainda, as atividades voltadas ao turismo náutico e pesca, nas modalidades artesanal e industrial, com embarcações presentes nas principais localidades ocupadas pela população tradicional, onde, geralmente, ocorrem atividades de maricultura.

Com relação às áreas contaminadas na RH I – BIG, não foram localizadas informações nas referências consultadas, incluindo o Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Ilha Grande.

Nesse tópico, cabe destacar a presença de lixões desativados em Angra dos Reis e Paraty, Quadro 49, onde continua a ocorrer a geração de chorume e contaminação do solo.

Quadro 49. Lixões e aterros desativados presentes nos municípios da RH I – BIG. Fonte: EcoX Ambiental (2015), PMAR (2017), SNIS (2010 a 2016), citados por PRH-BIG (2020.a).

Município	UHP	Nome da Unidade	Localização	Situação Atual
Angra dos Reis	Rio Ariró	Lixão	Estrada Zungu, próximo BR 101, bairro Ariró	Área ainda é uma fonte de contaminação de lixiviados para o Rio Vermelho, afluente do Rio Ariró
	Rio do Meio (Japuíba)	Unidade de beneficiamento de resíduos da construção civil	Rua Santa Luzia, bairro Parque Belém Situa-se dentro da	Irregular pois não há processamento dos resíduos, apenas aterramento
Paraty	Rio Perequê-Açú	Lixão Boa Vista	APA Cairuçu, às margens da rodovia Rio-Santos	Os líquidos lixiviados ainda são gerados, com potencial contaminação do lençol freático e das águas que banham o manguezal presente nas proximidades

Mesmo considerando que as atividades industriais na RH I sejam de pequena monta, é esperado que existam áreas de solo contaminadas e passivos ambientais associados aos estaleiros, tanto industriais como artesanais, oficinas mecânicas, postos de serviços e revenda de combustíveis, além de reciclagem de resíduos, dentre diversas outras atividades como constatado na RH II – Guandu.

Com relação à qualidade das águas nas coleções hídricas da RH I – Baía de Ilha Grande, a situação é boa, com algumas ressalvas. Como a maior parte dos corpos d'água encontra-se no território de Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente, não ocorrem atividades antrópicas nas imediações.

Nas regiões densamente povoadas das áreas drenadas pelos rios Mambucaba, Frade, Bracuí, Japuíba, Angra dos Reis, Jacuecanga, Jacareí e, principalmente, Angra dos Reis, a carga orgânica e química comprometem a qualidade da água e tornam a poluição e contaminação relevantes (PRH-BIG, 2020c).

Adicionalmente, o uso da terra restrito às atividades agrícolas de baixo impacto ambiental na região não acarreta maior problema para a quantidade e qualidade das águas.

No que diz respeito aos resultados de análises de água de duas campanhas de coleta em pontos previamente definidos nos principais cursos d'água da RH I – BIG, Figura 99 e Quadro 50, constatou-se que os pontos E4 (Rio Perequê-Açu jusante) e E13 (Rio do Meio/Japuíba) foram os que apresentaram a pior qualidade ao considerar os parâmetros analisados.

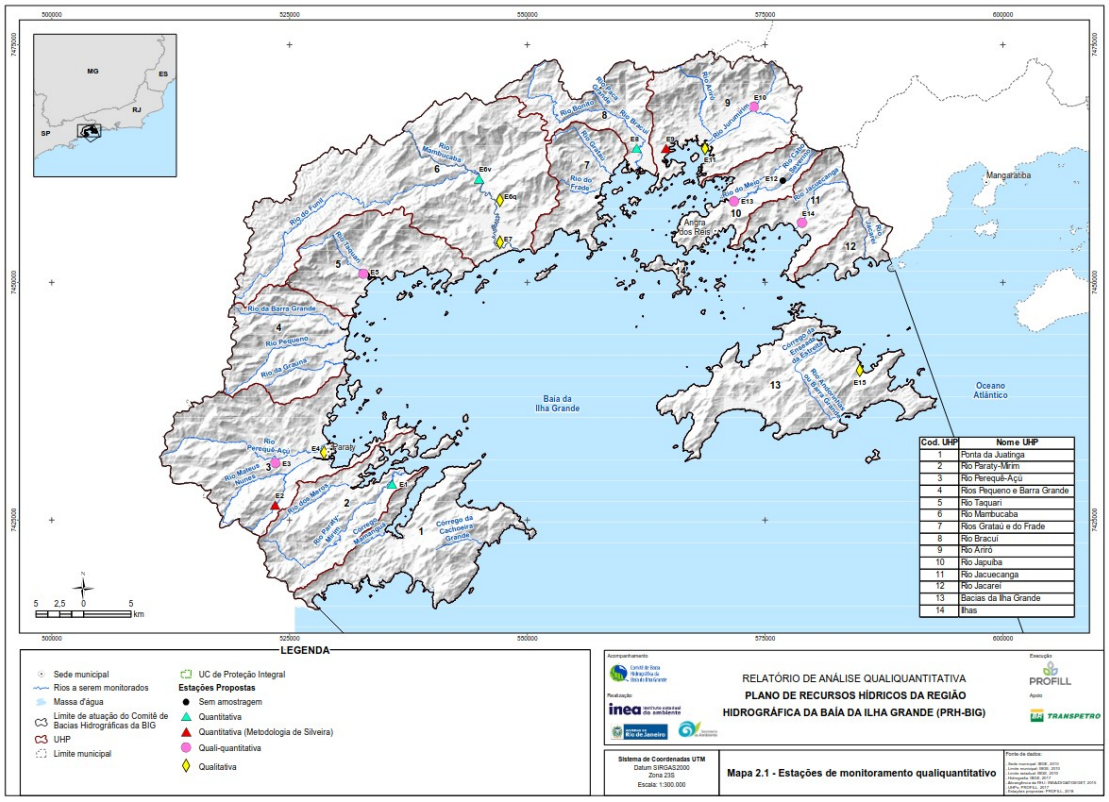


Figura 99. Localização dos pontos de coleta de água nos principais corpos d'água da RH I – Baía de Ilha Grande. Fonte: PRH-BIG (2020c).

Quadro 50. Classe de qualidade para as amostras de água superficial coletadas nos rios da RH I – BIG em duas campanhas. Fonte: PRH – BIG (2020c).

UHP / Rio	Ponto	Classe de Qualidade	Observações
3 - Rio Perequê-Açu montante	E3	2	
3 - Rio Perequê-Açu jusante	E4		Piores resultados
5 - Rio Taquari	E5	2	
6 - Rio Mambucaba montante	E6	3	
6 - Rio Mambucaba jusante	E7	4	
9 - Rio Campo Alegre	E10	2	
9 - Rio Jurumirim	E11	4	
10 - Rio do Meio/Japuiba	E13	4	Piores resultados
11 - Rio Jacuecanga	E14	1	
14 - Ilha Grande (Abraão)	E15	2	

4.3.3.5. Atividades potencialmente introdutoras de metais pesados na RH I – Baía de Ilha Grande

A título de complemento, lista-se no Quadro 51 as atividades econômicas com potencial para introdução de metais pesados a partir das emissões, efluentes e resíduos gerados, de acordo com as referências consultadas, agrupadas em Seções definidas pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), descritas com mais detalhes na Seção 4.4. . Atividades antropogênicas introdutoras de metais pesados nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, página 255, distribuídas nas Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP) presentes na RH I – Baía de Ilha Grande, por meio de registro qualitativo.

Quadro 51. Atividades econômicas agrupadas pelas Seções CNAE responsáveis por introduzir poluentes nas coleções hídricas e, dentre eles, metais pesados nas UHPs da RH II – Guandu.

UHP	Seção CNAE																
	A				B	C	E	F	G	H	J	M	O	P	Q	R	S
	Agricultura	Pecuária	Pesca	Maricultura	Mineração	Indústria de transformação	Saneametnto	Construção civil	Reparação veículos automotores	Transporte	Informação e comunicação	Atividades profissionais científicas e técnicas	Administração pública e defesa	Educação	Saúde humana e serviços sociais	Artes, cultura, esporte e recreação	Outras atividades e serviços
1 Ponta da Juatinga	■		■		■			■		■		■					
2 Rio Paraty-Mirim			■	■				■		■	■	■	■			■	■
3 Rio Perequê-Açú	■	■	■		■	■	■	■	■	■		■	■	■	■		■
4 Rios Pequeno e Barra Grande	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■					■
5 Rio Taquari	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■					■
6 Rio Mambucaba	■	■	■		■	■	■	■	■	■		■	■	■	■		■
7 Rios Grataú e do Frade	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8 Rio Bracuí	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9 Rio Ariró	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■			■
10 Rio do Meio (Japuíba)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■
11 Rio Jacuecanga	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■
12 Rio Jacareí	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■					■
13 Bacias da Ilha Grande	■		■	■				■	■	■		■	■				■
14 Ilhas	■		■	■				■	■	■		■	■				■

Observação: na Seção B – Mineração, a cor cinza claro indica a existência de requerimentos minerários na UHP considerada sem informações a respeito da fase de instalação e operação do empreendimento.

4.4. Atividades antropogênicas introdutoras de metais pesados nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande

Nesta seção são listadas e descritas as atividades antropogênicas potencialmente introdutoras de metais pesados no território emerso, espelho d'água e substrato das baías e RHs V, II e I, bem como descritos os procedimentos adotados para a identificação das principais atividades econômicas e administrativas presentes na área de estudo. As atividades foram organizadas conforme as Seções e Classes da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e identificadas no banco de dados da Receita Federal. Ademais, estabelece, para cada Seção e respectivas Subclasses/atividades econômicas, a relação com os metais pesados potencialmente gerados, tanto nas áreas emersas quanto no espelho e substrato das águas costeiras, a partir das referências consultadas.

Os processos naturais, ou autogênicos, responsáveis pela introdução de metais pesados no sedimento dos ambientes sedimentares e regiões costeiras, como no presente caso, foram resumidamente apresentados na Seção 4.1.1. Fontes autogênicas de metais pesados.

Já as atividades humanas desenvolvidas nos meios rural e urbano — ou antropogênicas — são corriqueiramente responsáveis pela introdução de diversos poluentes, incluindo metais pesados, no solo, atmosfera, coleções hídricas, regiões costeiras, oceanos, incluindo a neve e o gelo de altas montanhas e calotas polares. Tais aportes ocorrem, de modo geral, em quantidades significativamente superiores às contribuições naturais, e são sinteticamente apresentadas no Quadro 52.

Quadro 52. Principais atividades antropogênicas responsáveis por aportar metais pesados no meio. Fonte: adaptado de Ibrahimova et al. (2025).

Metal pesado	Principais atividades e processos como fontes de metais pesados
Arsênio - As	Mineração, fundição de metais e ouro, produção de cobre, níquel, aço e ferro; queima de combustíveis fósseis; produtos farmacêuticos, pesticidas, tintas, fertilizantes fosfatados
Cádmio - Cd	Indústria de ligas e revestimentos metálicos, galvanoplastia, produção de cobre, componentes eletrônicos, baterias alcalinas, inseticidas, revestimentos, pigmentos, fotografia, fabricação de baterias, tubos galvanizados, plásticos, refinarias de polímeros
Chumbo – Pb	Mineração,galvanoplastia, indústria para produção de pigmentos, tintas e tingimento, produção de baterias, e baterias de chumbo-ácido, resíduos e desgaste de veículos
Cobre - Cu	Mineração e metalurgia, galvanoplastia, indústria metalúrgica e de plásticos, seda sintética, resíduos elétricos e eletrônicos, corantes e pigmentos, indústria têxtil, explosivos, refinaria de petróleo
Cromo - Cr	Centrais termoelétricas, refinarias de petróleo e gás, produção e processamento de metais (incluindo minério metálico, ferro-gusa e aço), produção mineral e química, indústrias de preservação de madeira, produção e processamento de papel e madeira, indústrias de curtimento, borracha e tintas
Mercúrio - Hg	Agricultura, indústrias de mineração e processamento, incineração de resíduos sólidos e drenagem urbana, lâmpadas fluorescentes, fabricação de produtos químicos, lâmpadas de vapor de mercúrio, interruptores elétricos, explosivos, borracha e plásticos, produtos de mercúrio (amálgama de mercúrio, termômetros, baterias), celulose
Níquel - Ni	Mineração e metalurgia, fabricação de peças por eletrodeposição, galvanoplastia, produção de ferro e aço, indústria aeroespacial, borracha, plástico, baterias, aerossóis industriais, incineração de resíduos sólidos, acumuladores e baterias, indústria química, indústria de processamento de alimentos
Zinco - Zn	Mineração e metalurgia , galvanoplastia e galvanização, revestimento de ferro e aço

4.4.1. Atividades econômicas na região de estudo com potencial para introduzir metais pesados no meio: quem sabe quais são e onde estão?

Ao considerar o território das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, há que se ter em conta que parte dos metais pesados presentes no sedimento é de origem autogênica, decorrente da constituição química das rochas presentes nas áreas das bacias de drenagem, disponibilizados e carreados por meio dos processos intempéricos. Essas contribuições, naturais, constituem o nível de base, ou background, e tendem

a apresentar variações não expressivas ao considerar escalas temporais afeitas à civilização humana.

Já a introdução de metais pesados pelas atividades desenvolvidas pelos seres humanos, denominadas antropogênicas, é o que se destaca e merece atenção pelo papel e importância que exerce. Não somente na região estudada, mas em todas as regiões costeiras com grandes aglomerados urbanos associados a polos industriais, portuários e turísticos, além de atividades minerárias e agrícolas realizadas nas imediações.

Para a identificação das atividades econômicas realizadas na região de estudo, e tomando como referência a RH V – Baía de Guanabara, por ser ocupada há mais tempo, ter sido sede do Império, governo federal e estadual, além de apresentar quadro mais sério de degradação ambiental graças às atividades desenvolvidas pelo maior contingente populacional agrupado do estado do Rio de Janeiro, deparou-se com quadro de falta de informações críveis para balizar as atividades subsequentes deste estudo.

Partiu-se, em um primeiro momento, das informações dispostas no Plano de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014a, 2014b), Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara (AGEVAP/CBH-BG, 2020), Atlas da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (Coimbra et al., 2021), Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica II – Guandu (PERH Guandu, 2017a, 2017b) e Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande (PRH-BIG, 2018, 2020a), além de publicações científicas focadas nesse tema.

As díspares informações obtidas, tanto relacionadas ao número quanto aos tipos de empreendimentos, deixavam de considerar significativa parcela de atividades identificadas na bibliografia como fontes potenciais de metais pesados no ambiente.

Na década de 80, por exemplo, o número de indústrias no município do Rio de Janeiro era estimado em 10.000, com 5.000 delas consideradas como

significativamente poluidoras (FEEMA, 1990, citado por Fonseca; Neto; Pompermayer, 2021).

A Petrobras (2009), citada por KCL Technologies (2016), utilizando registros da extinta FEEMA, reportou a existência de cerca de 7.500 empreendimentos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, com 3.823 deles sediados no município do Rio de Janeiro.

Levantamento apresentado no Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara cita a presença de 12 segmentos, ou parques, industriais voltados para os setores petróleo e gás, naval e tecnologias ligadas ao setor da saúde, produtos químicos e petroquímicas, biotecnologia, equipamentos e materiais, além de indústrias metalúrgicas, têxteis, produtoras de gás, plástico, mobiliário e vestuário, somando 292 empreendimentos cadastrados na base IBGE (2018), Quadro 53, como informado por AGEVAP/CBH-BG (2020).

Já a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), por meio dos Retratos Regionais e Perfil Econômico das diferentes regiões do estado, apresenta estatísticas associadas às regiões definidas por essa instituição, não restritas à Região Metropolitana do Rio de Janeiro e, nem tampouco, à Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara (FIRJAN, 2017a, 2017b, 2017c, 2018), Quadro 54.

Buscou-se, considerando os municípios abarcados em cada um dos Retratos Regionais FIRJAN (FIRJAN, 2017a, 2017c, 2017b, 2018), a identificação dos empreendimentos nas diferentes RHs. Com a ressalva de que os territórios municipais, em alguns casos, eram parcialmente inscritos em uma RH ou, como em diversas situações, em duas regiões hidrográficas.

Tal constatação impossibilitou determinar a tipologia e número de empreendimentos nas diferentes atividades econômicas realizadas nas regiões hidrográficas consideradas.

E registrou-se, nas linhas com fundo na cor amarela, Quadro 54, os segmentos de atividades potencialmente geradores de metais pesados, de acordo com as referências consultadas.

Quadro 53. Tipos e quantidade de indústrias por Unidade Hidrológica de Planejamento (UHP) na RH V – Baía de Guanabara. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2020).

Tipos de indústrias	Unidade Hidrológica de Planejamento – UHP							
	V-a	V-b	V-c1	V-d1	V-d2	V-e1	V-e2	Total
Fabricação alimentícia e bebidas	2	1	1	6	3	0	1	**14**
Fabricação de produtos têxteis	0	0	1	0	1	0	0	**2**
Fabricação de produtos de madeira e celulose	0	0	0	0	2	0	1	**3**
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	2	0	0	0	0	0	0	**2**
Edição, impressão e reprodução de gravações	1	0	0	0	0	0	0	**1**
Fabricação de coque, refino de petróleo, produção de combustíveis nucleares e produção de álcool	0	0	2	0	0	0	0	**2**
Fabricação de produtos químicos	13	2	2	0	4	0	0	**21**
Fabricação de artigos de borracha e material plástico	1	0	0	0	0	0	0	**1**
Metalurgia básica	1	0	1	0	0	0	0	**2**
Fabricação de outros equipamentos de transporte	2	0	3	0	0	0	0	**5**
Reciclagem	0	1	0	0	0	0	0	**1**
Construção	2	0	0	1	0	0	0	**3**
Desconhecido	80	1	13	8	114	1	11	**228**
Outros	2	0	0	0	5	0	0	**7**
Total	**106**	**5**	**23**	**15**	**129**	**1**	**13**	**292**

Observação: os tipos de indústria em fundo amarelo colocam-se, graças ao processo produtivo e de acordo com as referências consultadas, como fontes potenciais de metais pesados no ambiente.

Enquanto o Atlas da Região Hidrográfica V: Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá, por sua vez, associou os empreendimentos industriais e comerciais às Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP) previamente definidas, Quadro 55, como informado por Coimbra et al. (2021).

Quadro 54. Tipos e quantidade de indústrias por regiões abarcadas pelos Retratos Regionais, municípios e Unidade Hidrológica de Planejamento (UHP) na RH V – Baía de Guanabara. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2020); Coimbra et al. (2021); FIRJAN (2017a, 2017b, 2017c, 2018).

RH considerada	RH–V e II	RH-V	RH-V	RH-V	RH-V parcial	RH-V	RH-I
Retrato Regional FIRJAN	**Baixada Fluminense Área I**	**Baixada Fluminense Área II**	**Capital**	**Leste Fluminense**	**Região Centro-Norte Fluminense**	**Região Serrana Fluminense**	**Região Sul Fluminense**
Municípios externos à área de interesse na RH	Japeri, Paracambi, Queimados	Teresópolis		Araruama, Armação dos Búzios, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Maricá, Rio das Ostras, São Pedro da Aldeia, Saquarema, Silva Jardim e Tanguá	Bom Jardim, Cantagalo, Carmo, Cordeiro, Duas Barras, Macuco, Nova Friburgo, Santa Maria Madalena, São Sebastião do Alto, Sumidouro, Trajano de Moraes	Petrópolis	Barra do Piraí, Bara Mansa, Engenheiro Paulo de Frotin, Itatiaia, Mendes, Pinheiral, Piraí, Porto Real, Quais, Resende, Rio Claro, Rio das Flores, Valença, Vassouras, Volta Redonda
Municípios inscritos na RH objeto de estudo	Itaguaí, Mangaratiba, Mesquita, Nova Iguaçu, Nilópolis	Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Magé, São João do Meriti,	Rio de Janeiro	Tanguá, Itaboraí, Niterói, São Gonçalo,	Cachoeira de Macacu	Petrópolis	Angra dos Reis, Paraty
Setor econômico e Segmento industrial em 2017	**Referente ao ano de 2015**						
ústria							
Indústria de Transformação							
Produtos alimentícios	114	166	484	254	254	97	182
Bebidas	16	25	26	13	13	8	27
Produtos do fumo	0	2	2	0	0	0	1
Têxtil	17	41	120	40	40	50	13
Vestuário e acessórios	161	384	1.006	399	399	365	120
Artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	20	23	83	27	27	6	6
Produtos de madeira	11	34	71	67	67	20	30
Papel e celulose	18	42	110	24	24	5	14
Gráfica	46	88	535	132	132	33	59
Fabricação de coque, refino de petróleo e biocombustíveis	2	11	21	3	3	0	5
Química (exceto Perfumaria e Farmacêutica)	32	100	144	34	34	3	30
Perfumaria, cosméticos e higiene pessoal	24	13	52	5	5	0	2
Farmacêutica	1	6	68	10	10	0	6
Produtos de borracha	7	19	29	9	9	6	17
Artigos de plásticos	31	127	214	57	57	27	32
Produtos de minerais não-metálicos	86	125	245	316	316	29	118
Metalurgia	16	28	93	19	19	4	37
Produtos de metal (exceto Máquinas e equipamentos)	116	283	539	272	272	52	210
Produtos eletrônicos, informática , comunicação e ópticos	10	22	126	26	26	6	17
Material elétrico	19	45	184	39	39	4	20
Máquinas e equipamentos	60	147	512	153	153	29	81
Veículos automotores, reboques e carrocerias	25	29	71	24	24	2	45
Indústria naval	10	3	67	177	177	1	27
Indústria ferroviária	0	0	7	1	1	0	0
Indústria aeronáutica	3	2	18	3	3	3	0
Outros equipamentos de transporte	6	10	7	10	10	1	3
Mobiliário	43	154	165	109	109	63	42
Produtos diversos	58	106	324	116	116	33	62
Instalação de máquinas e equipamentos	10	27	124	31	31	5	28
Total empreendimentos indústria de transformação	**962**	**2.062**	**5.447**	**2.370**	**2.370**	**852**	**1.234**
Construção	712	984	5.389	2.038	2.038	317	847
Serviços Industriais de Utilidade Pública	40	104	343	124	124	14	87
Extração de Petróleo e gás	0	1	111	13	13	0	2
Extração mineral (exceto Petróleo e gás)	86	25	51	81	81	6	37
al empreendimentos indústrias	**1.800**	**3.176**	**11.341**	**4.626**	**4.626**	**1.189**	**2.207**
nércio	**6.804**	**10.374**	**41.429**	**17.149**	**17.149**	**3.030**	**8.769**
ninistração pública	**48**	**27**	**302**	**151**	**151**	**7**	**64**
viços	**6.347**	**9.084**	**84.293**	**21.707**	**21.707**	**3.227**	**9.015**
opecuária	**91**	**210**	**249**	**823**	**823**	**108**	**1.201**
al por regiões	**15.090**	**22.871**	**137.614**	**44.456**	**44.456**	**7.561**	**21.256**
ado do Rio	**288.294**						

Observação: os tipos de indústria em fundo amarelo colocam-se, graças ao processo produtivo e de acordo com as referências consultadas, como fontes potenciais de metais pesados no ambiente.

Quadro 55. Total de indústrias por tipologia nos municípios pertencentes à RH V – Baía de Guanabara. Fonte: Coimbra et al. (2021).

Setor econômico e Segmento industrial	Belford Roxo	Cachoeiras de Macacu	Duque de Caxias	Guapimirim	Itaboraí	Magé	Maricá	Mesquita	Nilópolis	Niterói	Nova Iguaçu	Petrópolis	Rio Bonito	Rio de Janeiro	São Gonçalo	São João de Meriti	Tanguá	TOTAL
Indústria de Transformação	**199**	**72**	**941**	**43**	**210**	**153**	**88**	**100**	**104**	**457**	**422**	**811**	**107**	**5.246**	**741**	**400**	**34**	**10.128**
Alimentos	18	22	50	4	34	27	19	16	15	49	43	95	20	512	58	37	2	1.021
Bebidas	1	6	8	2	2	3	0	1	0	1	6	9	3	28	2	4	0	76
Produtos de fumo	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	5
Têxtil	2	0	17	0	1	4	2	1	2	11	7	48	5	113	11	14	0	238
Vestuário e acessórios	25	9	135	6	21	20	4	15	20	69	79	344	7	937	171	119	3	1.984
Artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	2	0	13	0	1	0	2	0	2	2	13	6	1	80	15	3	0	140
Produtos de Madeira	2	5	14	1	5	4	3	0	2	4	4	19	1	66	15	1	1	147
Papel e celulose	2	0	16	3	2	7	1	0	2	7	11	4	0	101	9	14	1	180
Gráfica	8	1	28	1	5	6	6	5	4	42	22	27	6	510	33	23	2	729
Coque, refino de petróleo e biocombustíveis	0	0	8	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	22	1	0	0	34
Química	7	0	88	0	5	5	0	5	5	7	30	3	0	193	16	9	0	373
Produtos farmoquímicos e farmacêuticos	0	0	5	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	62	4	1	0	76
Produtos de borracha e artigos de plástico	16	6	79	0	4	6	5	1	5	4	17	32	1	235	28	26	1	466
Produtos de minerais não-metálicos	19	9	63	7	56	13	20	7	4	23	19	29	21	237	64	14	14	619
Metalurgia	4	0	15	3	3	0	0	2	2	3	4	5	0	86	6	5	0	138
Produtos de metal (exceto Máquinas e equipamentos)	43	4	110	4	26	16	7	13	13	35	52	44	19	492	83	47	2	1.010
Produtos eletrônicos, informática, comunicação e ópticos	0	0	6	0	0	1	1	0	2	4	1	6	2	87	3	1	0	114
Material elétrico	2	1	15	0	0	1	3	1	1	4	3	4	1	104	6	5	0	151
Máquinas e equipamentos	2	1	35	2	10	2	3	4	1	9	6	14	2	176	20	11	1	299
Veículos automotores, reboques e carrocerias	2	2	17	0	5	2	0	5	0	1	14	2	3	66	7	6	5	137
Outros equipamentos de transporte	3	1	7	0	2	4	0	1	1	17	2	3	1	44	5	1	0	92
Mobiliário	10	0	76	5	8	6	3	4	6	18	32	56	5	153	34	23	1	440
Produtos Diversos	8	3	38	2	4	14	1	7	6	28	23	30	6	291	31	10	0	502
Manutenção, reparação e instalação máquinas e equip.	23	2	95	2	15	12	8	12	11	116	32	31	3	649	119	26	1	1.157
Construção	**125**	**20**	**363**	**21**	**109**	**84**	**66**	**49**	**47**	**511**	**294**	**291**	**90**	**4.872**	**349**	**104**	**15**	**7.410**
Serviços Industriais de Utilidade Pública	**10**	**6**	**60**	**1**	**8**	**7**	**5**	**4**	**3**	**22**	**16**	**10**	**4**	**368**	**28**	**15**	**1**	**568**
Indústria Extrativa	**2**	**5**	**12**	**3**	**6**	**6**	**9**	**0**	**0**	**7**	**6**	**6**	**6**	**151**	**10**	**0**	**3**	**232**
TOTAL Indústria	**336**	**103**	**1.376**	**68**	**333**	**250**	**168**	**153**	**154**	**997**	**738**	**1.118**	**207**	**10.637**	**1.128**	**519**	**53**	**18.338**
Participação do município entre os municípios da RH-V	**1,8%**	**0,6%**	**7,5%**	**0,4%**	**1,8%**	**1,4%**	**0,9%**	**0,8%**	**0,8%**	**5,4%**	**4,0%**	**6,1%**	**1,1%**	**58,0%**	**6,2%**	**2,8%**	**0,3%**	**100,0%**
TOTAL Indústrias ERJ	**28.551**																	
Participação do município no ERJ	**1,2%**	**0,4%**	**4,8%**	**0,2%**	**1,2%**	**0,9%**	**0,6%**	**0,5%**	**0,5%**	**3,5%**	**2,6%**	**3,9%**	**0,7%**	**37,3%**	**4,0%**	**1,8%**	**0,2%**	**64,2%**

Fonte: Recorte espacial dos municípios da RH-V adaptado pela equipe AGEVAP a partir do banco de dados Retratos Regionais 2018 do Sistema FIRJAN. OBS: A publicação é de 2018 mas os dados são referentes ao ano de 2016.

Constatou-se, a partir do exposto, variação do número de empreendimentos apresentados por cada instituição consultada, ausência de uniformidade nas informações listadas, diferentes recortes e segmentações espaciais, agregação dos empreendimentos por critérios não uniformes e ausência de coerência temporal para os resultados apresentados em decorrência, se depreende, de diferentes métodos de trabalho adotados e, eventualmente, objetivos previstos para cada iniciativa.

O cenário identificado, portanto, impedia a identificação e, principalmente, a quantificação das principais atividades caracterizadas como fontes potenciais de introdução de metais na RH V – Baía de Guanabara, RH II – Guandu/Baía de Sepetiba e RH I – Baía de Ilha Grande.

Ao considerar a importância do tema metais pesados e a falta de referenciais quantitativos, justificava-se, no nosso entender, a necessidade de

avançar para a obtenção desse tipo de informações com o objetivo de contribuir para estimar as fontes antropogênicas de metais pesados responsáveis pela contaminação do sedimento das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande a partir dos processos responsáveis pela sua ocorrência. E não apenas a partir dos resultados disponíveis no banco de dados inicial e na bibliografia disponível.

4.4.2. Atividades econômicas introdutoras de metais pesados nas baías fluminenses

Para o registro e regularização de qualquer tipo de empreendimento social, com ou sem finalidade econômica, tanto privado como público, junto à sociedade – oficialmente desenvolvidos por pessoas jurídicas – torna-se necessário especificar as atividades que serão desenvolvidas. Essas atividades constituem a razão de ser do empreendimento e devem constar no Contrato Social ou Estatuto arquivado na Receita Federal.

A identificação dessas atividades é realizada por meio da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), sistema que organiza as informações relativas às atividades econômicas e públicas no país. A CNAE integra o Sistema Estatístico Nacional e tem por finalidade subsidiar a produção de estatísticas oficiais sobre o setor privado e a Administração Pública, sendo gerida e continuamente aprimorada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015a, 2015b).

A versão atualmente adotada no Brasil deriva da terceira revisão da “Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las Actividades Econômicas (CIIU/ International Standard Industrial Classification of all Economic Activities – ISIC)”, aprovada pela ONU em 1990 e publicada no país em 1994. Com o amadurecimento e disseminação internacional da proposta, a CIIU consolidou-se como padrão global de referência para o desenvolvimento de classificações nacionais e como instrumento de harmonização estatística (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

No Brasil, sucessivos aprimoramentos culminaram, em 2007, na versão 2.0 da CNAE (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015c)

A estrutura da CNAE segue princípios internacionalmente reconhecidos para

classificações de atividades econômicas, garantindo:

- cobertura completa do universo representado;
- categorias mutuamente excludentes;
- base conceitual e metodológica consistente;
- organização hierárquica adaptável a múltiplos usos estatísticos e
- estabilidade por período adequado.

Além desses princípios, o sistema enfatiza critérios de:

a) especialização, assegurando que unidades incluídas em determinada classe tenham como produção predominante os bens ou serviços que caracterizam essa classe;

b) cobertura, garantindo que a maior parte da oferta dos produtos ou serviços característicos da classe seja gerada pelas unidades nela classificadase

c) relevância, buscando representar adequadamente a estrutura produtiva nacional (CONCLA, 2015c).

Todas as atividades desenvolvidas por pessoas jurídicas, com ou sem finalidade lucrativa, devem ser enquadradas em uma classe CNAE. Inclusive as desenvolvidas pelo setor público.

Uma atividade econômica é entendida como uma unidade de produção constituída por um processo — isto é, uma combinação de ações e recursos — resultando em produtos ou serviços específicos. Cada unidade de produção é classificada em uma classe CNAE conforme sua atividade principal, podendo também apresentar atividades secundárias (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Atividades secundárias, geralmente destinadas a terceiros, são responsáveis por parcela adicional do valor adicionado — calculado como o valor bruto da produção deduzido do custo de matérias-primas e insumos — e não constam como objetivo principal do empreendimento no Contrato Social (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Considerando que todo processo produtivo da sociedade gera subprodutos indesejados, os quais podem alterar o meio físico ao introduzir energia e/ou matéria

— na forma de resíduos sólidos, emissões atmosféricas ou efluentes líquidos — tais subprodutos podem incluir substâncias potencialmente tóxicas, entre elas os metais pesados, foco deste estudo.

Para dispor de mais informações, identificaram-se os grupos de atividades econômicas realizadas em terra, na água ou em seu substrato, reconhecidas pela literatura como potenciais fontes de metais pesados.

Das 1.031 subclasses CNAE existentes, ou atividades econômicas, foram identificadas 416.501 pessoas jurídicas privadas e públicas — tanto ativas como inativas — distribuídas em 421 subclasses, 46 divisões e 14 seções, situadas total ou parcialmente nos territórios dos municípios da RH V - Baía de Guanabara, RH II – Guandu/Baía de Sepetiba e RH I - Baía da Ilha Grande.

A seleção das Divisões e Subclasses considerou a literatura científica que, a partir dos processos produtivos, matérias-primas e insumos utilizados, além dos resíduos, efluentes e emissões gerados, foram considerados fontes potenciais de introdução de metais pesados no ambiente. Os detalhes desse levantamento estão dispostos no Anexo 8.2. . Apêndice 2 - Atividades econômicas realizadas nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, página 405.

Dos 416.501 CNPJs identificados, 397.143 (95,4%) tiveram suas localizações geocodificadas, possibilitando a elaboração de mapas temáticos por Seção, Divisão ou Subclasse para cada bacia hidrográfica das três regiões hidrográficas estudadas.

Registra-se, entretanto, um entrave metodológico: durante as consultas ao banco da Receita Federal, a busca por “Paraty” — nomenclatura amplamente utilizada, inclusive pela Prefeitura Municipal do município — não retornou resultados. Somente posteriormente verificou-se que o sistema emprega a grafia oficial “Parati”. Em decorrência disso, os dados relativos a esse município podem estar incompletos e não representar, por ora, a totalidade de sua realidade.

As atividades econômicas desenvolvidas por pessoas jurídicas ativas e inativas, públicas e privadas, foram totalizadas por Seção nas RHs V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, conforme

sintetizado no Quadro 56 e demonstrado pela Figura 100.

Quadro 56. Número de CNPJs ativos e inativos identificados para cada Seção nos municípios total ou parcialmente inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

Setor		Número CNPJ identificados
1	Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aqüicultura	626
2	Indústrias extrativas	2.569
3	Indústrias de transformação	84.065
4	Eletricidade e gás	1.233
5	Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	6.829
6	Construção	51.892
7	Comércio reparação de veículos automotores e motocicletas	86.492
8	Transporte, armazenagem e correio	2.894
10	Informação e comunicação	3.666
13	Atividades profissionais, científicas e técnicas	4.847
15	Administração pública, defesa e seguridade social	1.519
16	Educação	373
17	Saúde humana e serviços sociais	30.765
18	Artes, cultura, esporte e recreação	64
19	Outras atividades de serviços	138.667
	Total CNPJs RH V, II e I	**416.501**

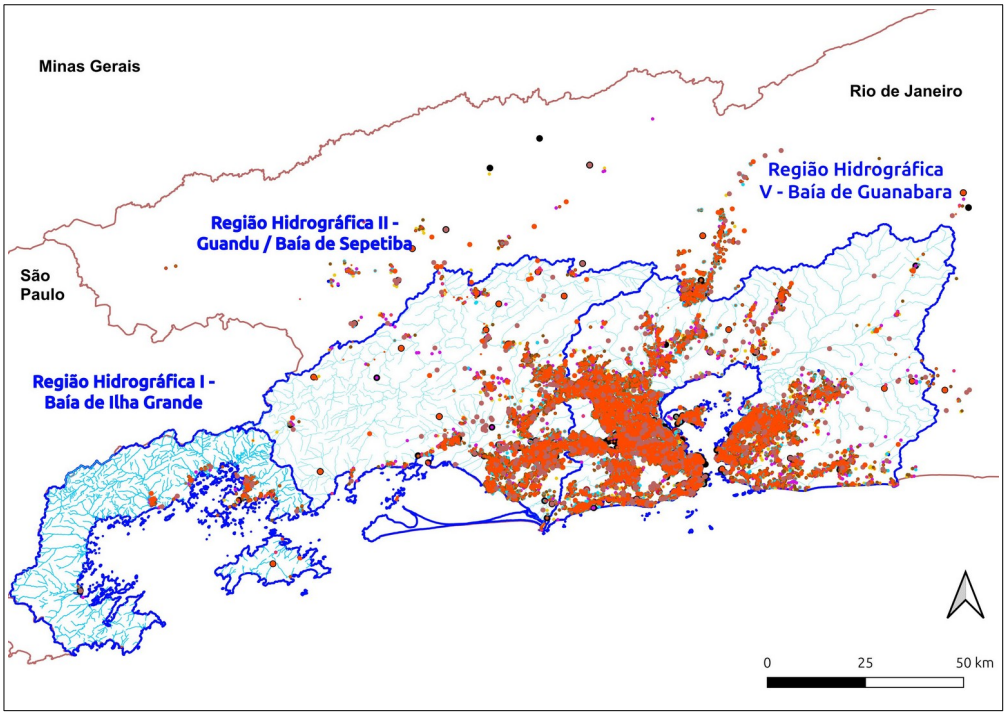


Figura 100. Distribuição das atividades econômicas geocodificadas potencialmente geradoras de metais pesados em todas as Seções CNAE, nos municípios total ou parcialmente inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I –

Baía de Ilha Grande.

A representação espacial das atividades econômicas, em todas as Seções CNAE, distribuídas nos municípios total ou parcialmente inscritos nas RHs, de acordo com a representatividade percentual, pode ser visualizada no Quadro 57 e Figura 101.

Quadro 57. Classificação ordenada das empresas por Seção da CNAE nos municípios inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

Posição	Seção		Empresas	
	Código	Nome	Número	%
1	19	Outras atividades de serviços	138.667	33.3
2	7	Comércio reparação de veículos automotores e motocicletas	86.492	20.8
3	3	Indústrias de transformação	84.065	20.2
4	6	Construção	51.892	12.5
5	17	Saúde humana e serviços sociais	30.765	7.4
6	5	Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	6.829	1.6
7	13	Atividades profissionais, científicas e técnicas	4.847	1.2
8	10	Informação e comunicação	3.666	0.9
9	8	Transporte, armazenagem e correio	2.894	0.7
10	2	Indústrias extrativas	2.569	0.6
11	15	Administração pública, defesa e seguridade social	1.519	0.4
12	4	Eletricidade e gás	1.233	0.3
13	1	Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aqüicultura	626	0.2
14	16	Educação	373	0.1
15	18	Artes, cultura, esporte e recreação	64	0.0

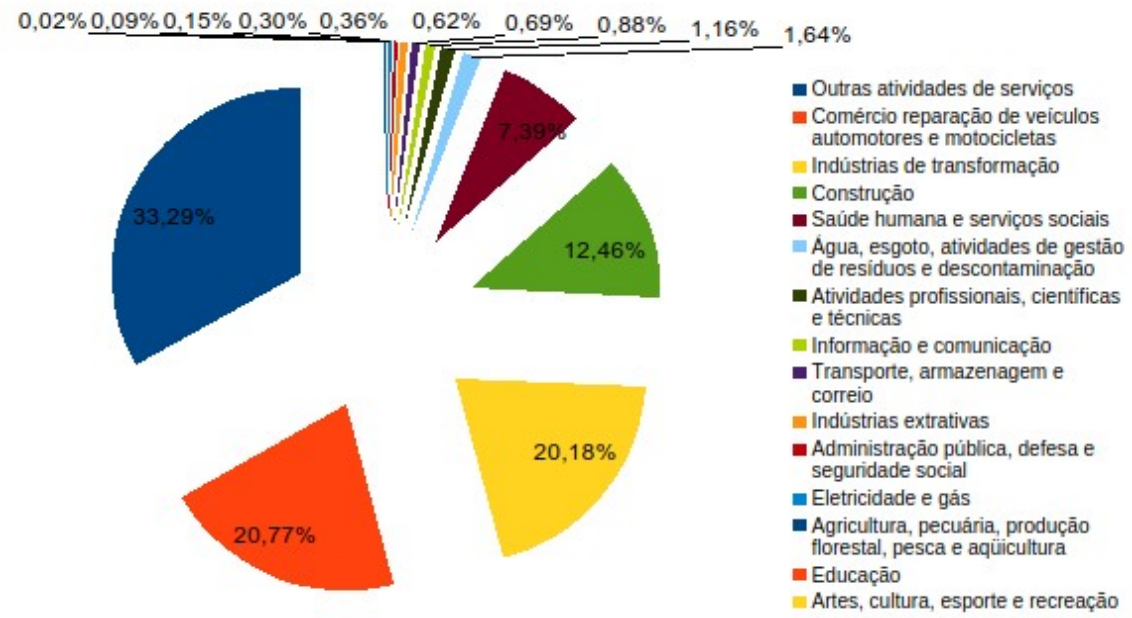


Figura 101. Percentual de CNPJ nas Seções CNAE identificados nos municípios total ou parcialmente inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, RH II – Guandu/Baía de Sepetiba e RH I – Baía de Ilha Grande.

Complementarmente, a ordenação por número e percentual das pessoas jurídicas por Divisão CNAE é apresentada no Quadro 58.

Quadro 58. Classificação ordenada das empresas por código e nome da Divisão da CNAE nos municípios inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

Posição	Divisão		Empresas	
	Código	Nome	Número	%
1	96	Outras atividades de serviços pessoais	116.629	28.0%
2	45	Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	69.142	16.6%
3	43	Serviços especializados para construção	50.146	12.0%
4	86	Atividades de atenção à saúde humana	30.238	7.3%
5.	95	Reparação e manut. Equip. Informática, comunic., obj. Pessoais e domésticos	22.038	5.3%
6	33	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	20.382	4.9%
7	25	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	16.555	4.0%
8	32	Fabricação de produtos diversos	14.163	3.4%
9	47	Comércio varejista	14.142	3.4%
10	18	Impressão e reprodução de gravações	11.791	2.8%
11	38	Coleta, tratamento e disposição de resíduos; recuperação de materiais	6.495	1.6%
12	22	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	4.846	1.2%
13	20	Fabricação de produtos químicos	4.248	1.0%
14	58	Edição e edição integrada à impressão	3.666	0.9%
15	13	Fabricação de produtos têxteis	3.516	0.8%

Já a distribuição das pessoas jurídicas segmentadas por código e denominação da Subclasse CNAE (ou atividade econômica), em ordem de representatividade, pode ser visualizada no Quadro 59 e na Figura 102.

Quadro 59. Classificação ordenada das empresas por Código e Nome da Subclasse CNAE/atividade econômica nos municípios inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

Posição	Subclasse CNAE / atividade econômica		Empresas	
	Código	Nome	Número	%
1	9602501	Cabeleireiros manicure pedicure	79.760	19.2%
2	4520001	Serv.manut. Mecânica veículos	31.762	7.6%
3	9602502	Ativ. Estética cuidados beleza	29.851	7.2%
4	4321500	Inst. manut. Elétrica	21.522	5.2%
5	9511800	Reparação manut. Computadores periféricos	12.889	3.1%
6	3212400	Fab. Bijuterias	11.824	2.8%
7	4330404	Serv. pintura edifícios	10.388	2.5%
8	4520005	Serv. lavagem polimento veículos	9.934	2.4%
9	4322302	Inst. manut. Ar condicionado	8.988	2.2%
10	8630502	Ativ. Médica ambulatorial exames	6.620	1.6%
11	8610102	Atend. Pronto-socorro urgências	6.508	1.6%
12	3314707	Manut. Máquinas refrigeração industrial	6.491	1.6%
13	8630504	Ativ. Odontológica	6.256	1.5%
14	2542000	Fab. artigos serralheria exc. Esquadrias	6.080	1.5%
15	2539001	Serv. usinagem tornearia solda	5.896	1.4%

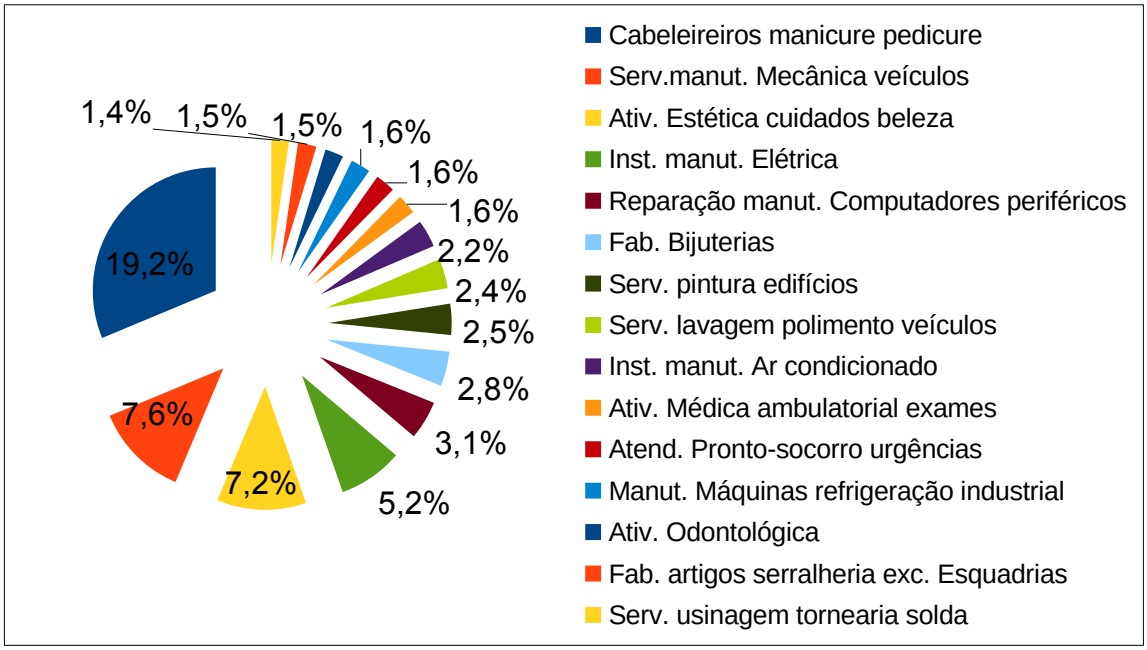


Figura 102. Percentual de Subclasses CNAE/atividades econômicas nos municípios inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

Destacam-se, dentre as atividades econômicas identificadas, as Subclasses de Cabeleireiros, Manicures e Pedicures (CNAE 9602-5/01) e de Atividades Estéticas e Cuidados com a Beleza (CNAE 9602-5/02) por, juntas, ocuparem a primeira e a terceira posições e representarem 27% do total de pessoas jurídicas registradas nas RHs, Figura 103. Nesse segmento, e conforme a bibliografia, é corriqueiro o uso de substâncias contendo metais pesados nas formulações químicas dos produtos utilizados cotidianamente nessas atividades.

Seguida por Serviços de Manutenção e Reparação de Veículos Automotores (Classe CNAE 4520-0) e Serviços de Instalação e Manutenção Elétrica (Subclasse CNAE 4321-5/00) ocupam, respectivamente, a segunda e a quarta posições em ordem de importância nas regiões analisadas, totalizando, em conjunto, cerca de 13% das pessoas jurídicas registradas, Figura 104.

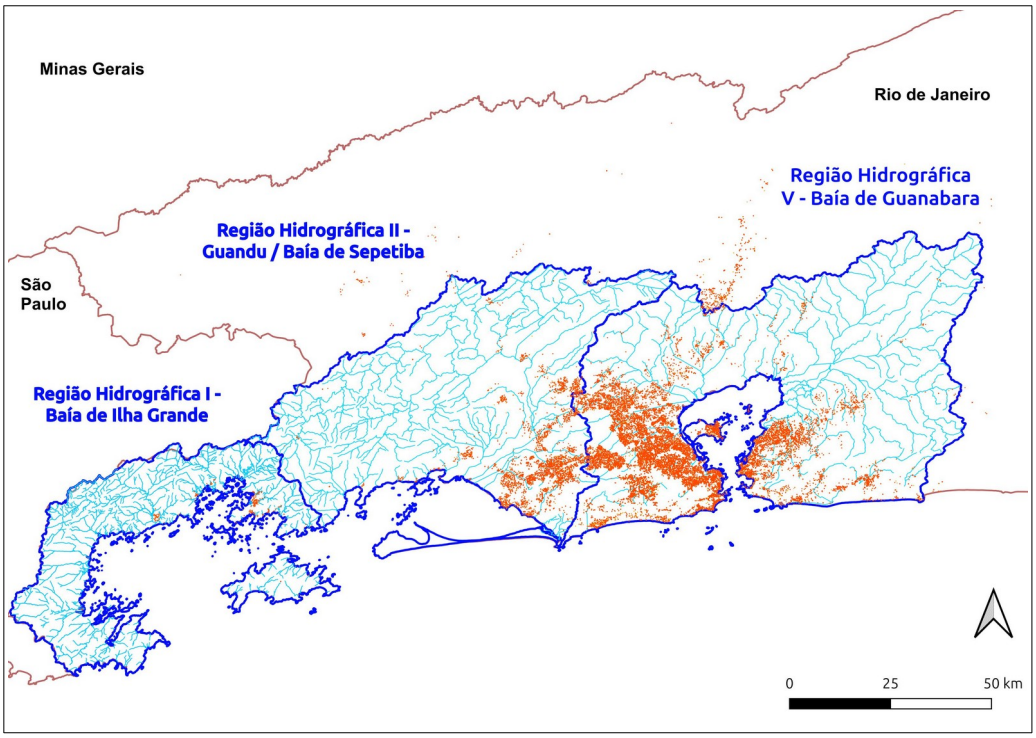


Figura 103. Distribuição de serviços de cabeleireiros, manicures e pedicures, incluindo atividades estéticas e cuidados com a beleza nas RHs V, II e I.

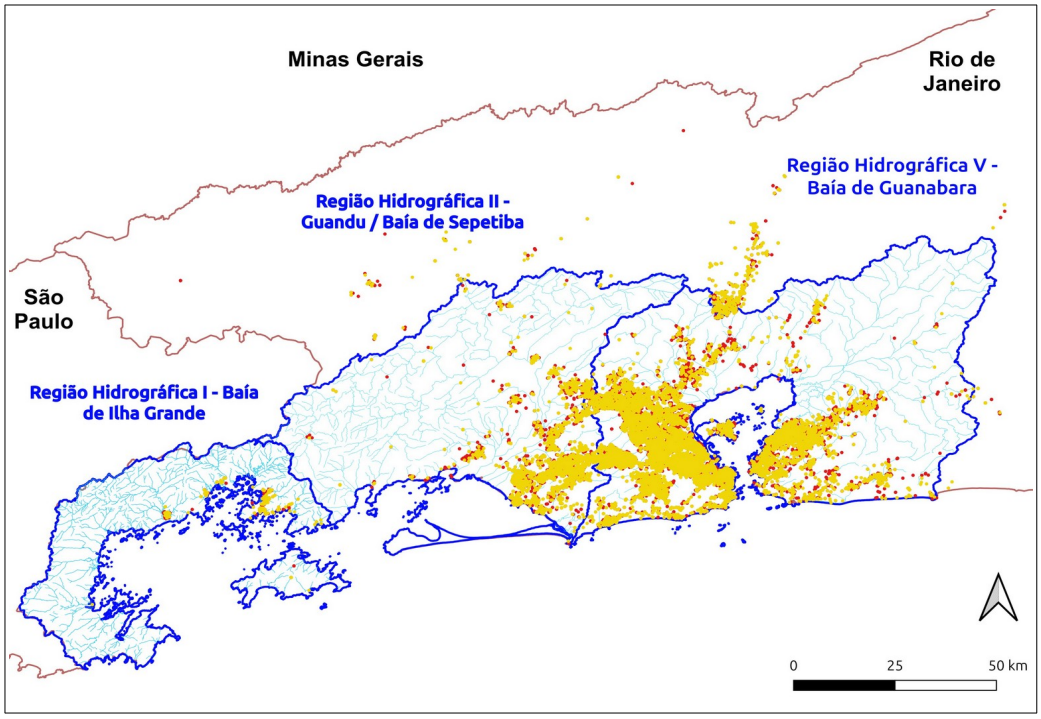


Figura 104. Distribuição de empresas de serviços de manutenção e reparação de veículos automotores (Classe CNAE 4520-0) e serviços de instalação e manutenção elétrica.

Com relação à distribuição dos empreendimentos nos municípios, os 15 com maior número de pessoas jurídicas nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha podem ser visualizados, em ordem de importância, no Quadro 60 e Figura 105.

Quadro 60. Classificação ordenada dos municípios inscritos nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande com maior número de pessoas jurídicas.

Posição	Município	Empresas	
		Número	%
1	Rio de Janeiro	222.123	53,3%
2	Duque de Caxias	28.200	6,8%
3	Sao Goncalo	26.194	6,3%
4	Nova Iguacu	22.858	5,5%
5	Niteroi	21.056	5,1%
6	Sao Joao de Meriti	11.801	2,8%
7	Petropolis	10.755	2,6%
8	Belford Roxo	10.598	2,5%
9	Marica	9.848	2,4%
10	Itaborai	6.527	1,6%
11	Mage	6.133	1,5%
12	Angra dos Reis	6.095	1,5%
13	Nilopolis	4.396	1,1%
14	Mesquita	4.202	1,0%
15	Itaguai	3.896	0,9%

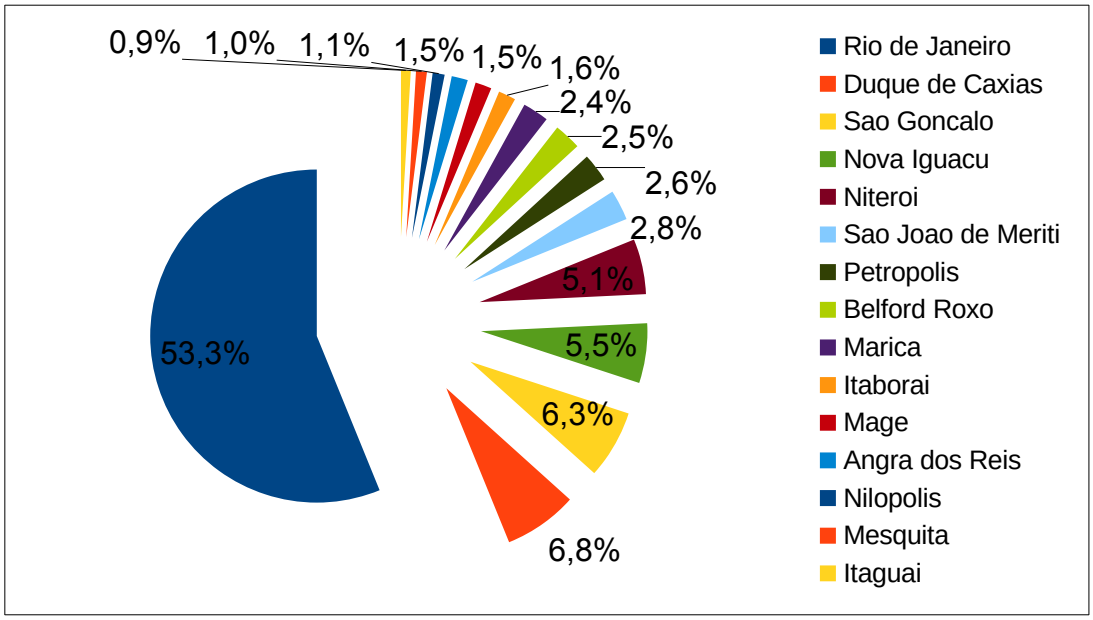


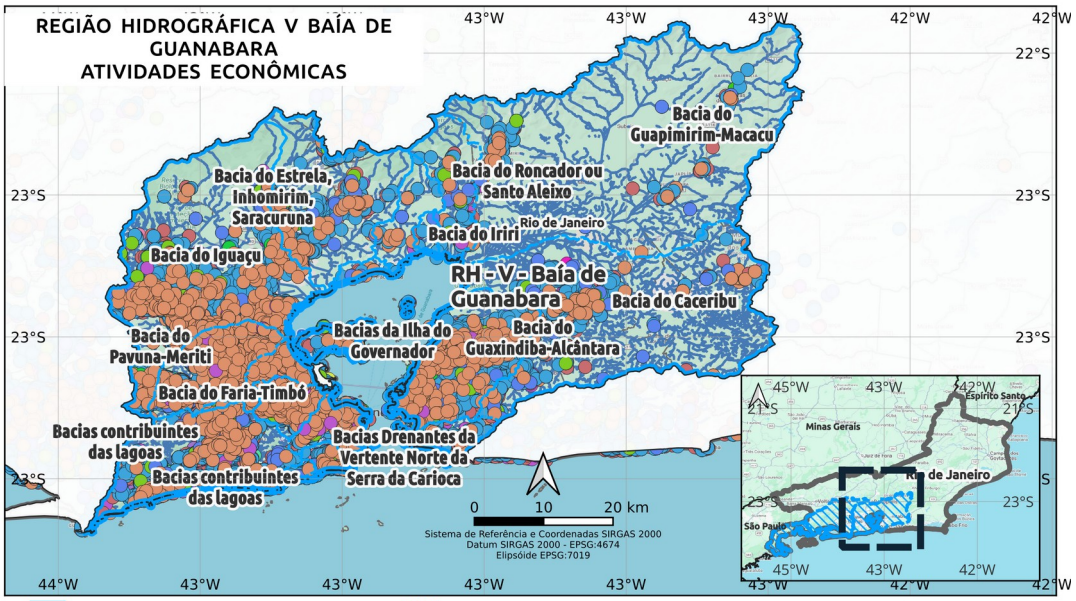
Figura 105. Municípios com maior contingente de pessoas jurídicas potencialmente geradoras de metais pesados inscritas no CNPJ nas RH V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

Em síntese, as informações obtidas revelam que a Seção S - Outras atividades de serviços é a mais expressiva ao considerar o número de pessoas jurídicas inscritas no CNPJ, com 138.667 empreendimentos. No nível de Divisão, destaca-se "Outras atividades de serviços pessoais", código 96, com 116.629 registros. Quanto à atividade econômica específica, a Subclasse CNAE 9602-5/01 (Cabeleireiros, manicure e pedicure) apresenta a maior concentração, com 79.760 empresas.

No âmbito geográfico, o município do Rio de Janeiro detém a maior densidade empresarial entre as localidades analisadas, com um total de 222.123 pessoas jurídicas cadastradas no seu território.

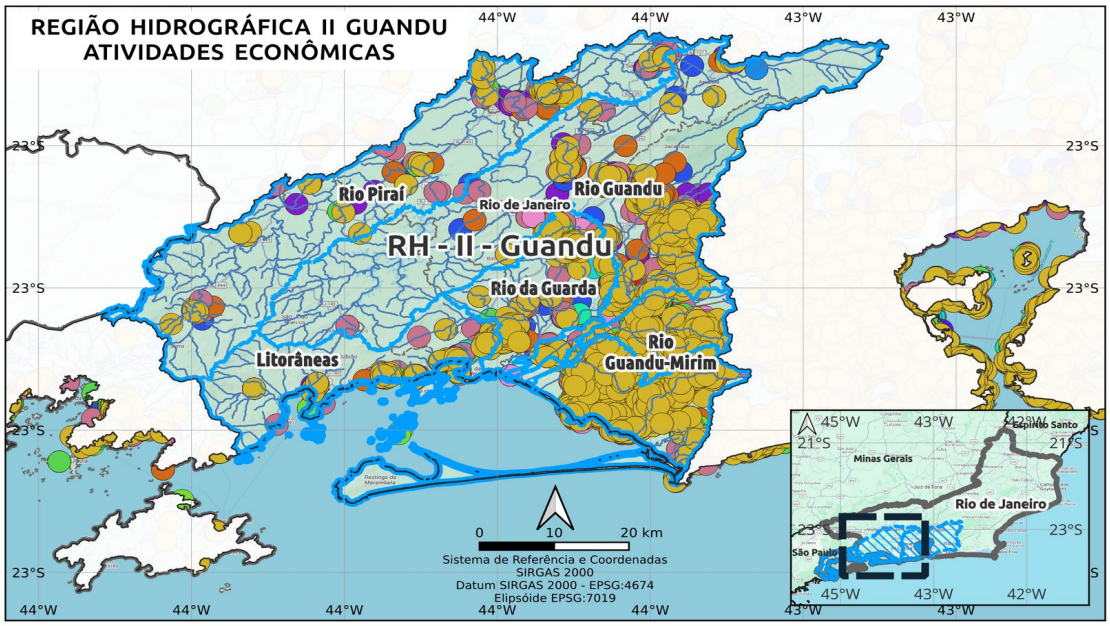
Adicionalmente, tornou-se possível totalizar e espacializar as subclasses CNAE com potencial de aporte de metais pesados no meio, agrupando-as por Seção e segmentando-as por bacias hidrográficas em cada RH. Os resultados obtidos para as regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, Figura 106, II – Guandu/Baía de Sepetiba, Figura 107, e I – Baía da Ilha Grande, Figura 108, possibilitam a visualização da distribuição geográfica dessas potenciais fontes antropogênicas de metais pesados no território, descritas e exemplificadas a seguir.

A descrição das principais características, incluindo a potencial contribuição de metais pesados para o meio, por atividades agrupadas em cada uma das Seções consideradas, é detalhada no Anexo 8.2. Apêndice 2 - Atividades econômicas realizadas nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, página 405.



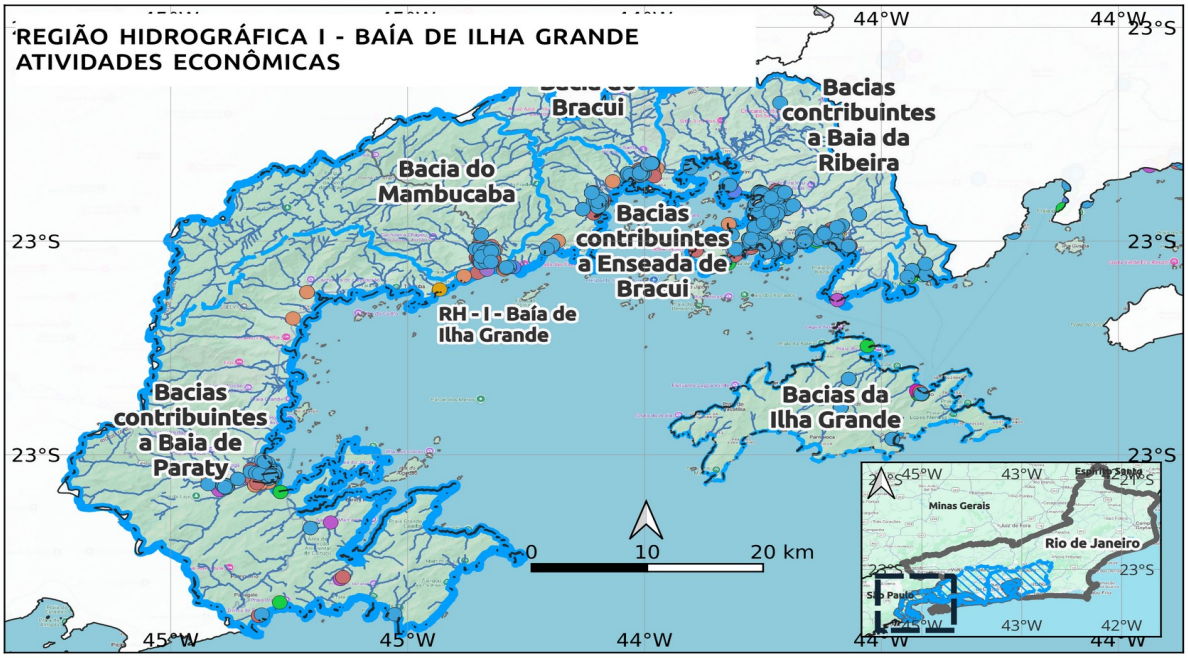
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
Bacia Hidrográfica / Número de iniciativas na Subclasse / Atividade econômica		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas Marítimas na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Aleixo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção A - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca E Aqüicultura		76	21	7	7	35	0	40	49	18	0	15	47	5	5	43	**368**
Seção B - Industrias Extrativas		778	41	40	4	111	0	74	167	119	2	70	140	5	8	61	**1.620**
Seção C - Indústrias De Transformação		8692	5614	5558	880	10679	12	8959	6417	1634	8	419	11979	162	1325	479	**62.817**
Seção D - Geração De Energia Elétrica		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Seção E - Agua, Esgoto, Atividades De Gestão De Resíduos E Descontaminação		569	398	369	62	891	4	637	416	166	0	90	1196	11	109	48	**4.966**
Seção F – Construção		3783	3152	2967	573	5694	9	5693	4840	1153	5	243	7366	100	730	284	**36.592**
Seção G - Comércio Reparação De Veículos Automotores E Motocicletas		6235	4512	5419	1005	11307	6	8728	6931	2175	4	521	13711	229	1320	671	**62.774**
Seção H - Transporte Armazenagem E Correio		267	58	129	23	361	2	213	176	32	1	13	376	2	94	8	**1.755**
Seção J - Informação E Comunicação		1347	323	290	21	275	0	305	215	27	0	3	211	9	14	16	**3.056**
Seção M - Atividades Profissionais, Científicas E Técnicas		971	307	256	73	374	0	471	732	62	0	12	327	10	44	25	**3.664**
Seção O - Administração Pública, Defesa E Seguridade Social		503	36	28	18	122	0	184	7	23	0	5	107	16	4	12	**1.065**
Seção P – Educação		103	23	22	8	18	0	32	37	0	0	0	14	2	2	1	**262**
Seção Q - Saúde Humana E Serviços Sociais		6458	823	1540	262	1786	1	4840	6674	160	0	26	1672	34	105	64	**24.445**
Seção R - Artes, Cultura, Esporte E Recreação		19	1	4	0	3	0	6	8	0	0	1	2	1	0	0	**45**
Seção S - Outras Atividades De Serviços		12736	9187	8390	1980	15548	24	13874	17092	1895	11	469	16234	275	1731	643	**100.089**
Total de pessoas jurídicas ativas e inativas																	**303.518**

Figura 106. Pessoas jurídicas com atividades potencialmente introdutoras de metais pesados no meio, segmentadas por bacia hidrográfica e agrupadas por Seção CNAE na RH V – Baía de Guanabara.



Código	INEA	1	2	3	4	
Bacia Hidrográfica / Número de iniciativas na Subclasse / Atividade econômica		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção A - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca E Aqüicultura		21	27	24	11	**83**
Seção B - Industrias Extrativas		34	105	60	302	**501**
Seção C - Indústrias De Transformação		241	1883	3639	829	**6.592**
Seção D - Geração De Energia Elétrica		0	0	0	0	**0**
Seção E - Agua, Esgoto, Atividades De Gestão De Residuos E Descontaminação		20	229	308	97	**654**
Seção F – Construção		126	1599	3263	392	**5.380**
Seção G - Comércio Reparação De Veículos Automotores E Motocicletas		367	2126	4472	1142	**8.107**
Seção H - Transporte Armazenagem E Correio		5	29	192	32	**258**
Seção J - Informação E Comunicação		12	24	29	17	**82**
Seção M - Atividades Profissionais, Científicas E Técnicas		11	34	126	31	**202**
Seção O - Administração Pública, Defesa E Seguridade Social		22	33	28	34	**117**
Seção P – Educação		0	3	5	2	**10**
Seção Q - Saúde Humana E Serviços Sociais		35	174	335	118	**662**
Seção R - Artes, Cultura, Esporte E Recreação		0	2	3	0	**5**
Seção S - Outras Atividades De Serviços		385	2635	7262	1020	**11.302**
Total de pessoas jurídicas ativas e inativas						**33.955**

Figura 107. Pessoas jurídicas com atividades potencialmente introdutoras de metais pesados no meio, segmentadas por bacia hidrográfica e agrupadas por Seção CNAE na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.



Hidrografia
RH - I - Baía de Ilha Grande

Sub-Bacias Baia de Ilha Grande
- Bacia do Bracui
- Bacia do Mambucaba
- Bacias Contrib. a Baia da Ribeira
- Bacias Contrib. a Baia de Paraty
- Bacias Contrib. a Enseada de Bracui
- Bacias da Ilha Grande

Atividades Econômicas
- Seção A
- Seção B
- Seção C
- Seção D
- Seção E
- Seção F
- Seção G
- Seção H
- Seção J
- Seção M
- Seção O
- Seção P
- Seção Q
- Seção R
- Seção S

Código INEA	1	2	3	4	5	6	7	
Bacia Hidrográfica / Número de iniciativas na Subclasse / Atividade econômica	Contribuintes a Baia da Ribeira	Rio Mambucaba	Rio Bracui	Contribuintes a Enseada do Bracui	Contribuintes a Baia de Paraty	Ilhas marítimas	Ilha Grande	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Seção A - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca E Aqüicultura	1	3	0	0	0		9	**13**
Seção B - Industrias Extrativas	8	1	0	3	2		27	**41**
Seção C - Indústrias De Transformação	644	126	47	108	216		316	**1.457**
Seção D - Geração De Energia Elétrica	0	0	0	0	9		0	**9**
Seção E - Agua, Esgoto, Atividades De Gestão De Residuos E Descontaminação	44	8	6	4	2		31	**95**
Seção F – Construção	336	78	31	84	191		115	**835**
Seção G - Comércio Reparação De Veículos Automotores E Motocicletas	581	166	51	86	127		274	**1.285**
Seção H - Transporte Armazenagem E Correio	170	12	13	29	186		261	**671**
Seção J - Informação E Comunicação	7	0	0	0	14		12	**33**
Seção M - Atividades Profissionais, Científicas E Técnicas	21	5	0	0	5		14	**45**
Seção O - Administração Pública, Defesa E Seguridade Social	9	0	0	0	14		8	**31**
Seção P – Educação	1	0	0	0	0		0	**1**
Seção Q - Saúde Humana E Serviços Sociais	112	19	2	12	34		43	**222**
Seção R - Artes, Cultura, Esporte E Recreação	0	0	0	0	1		1	**2**
Seção S - Outras Atividades De Serviços	803	250	38	114	329		274	**1.808**
Total de pessoas jurídicas ativas e inativas								**6.548**

Figura 108. Pessoas jurídicas com atividades potencialmente introdutoras de metais pesados no meio, segmentadas por bacia hidrográfica e agrupadas por Seção CNAE na RH I – Baía de Ilha Grande.

4.4.3. Fontes de metais pesados decorrentes de atividades humanas realizadas em terra

Em terra, as principais fontes pontuais e difusas de poluição referem-se às atividades diuturnamente realizadas pelos seres humanos para manutenção do metabolismo da sociedade, potenciais responsáveis pela introdução de diversos tipos de poluentes e, dentre eles, metais pesados.

O Quadro 61 agrupa as informações apresentadas ao longo desta Subseção Resultados – 3 – Atividades antropogênicas potencialmente introdutoras de metais pesados nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha, em abordagem inicial a partir das referências consultadas ((Abagale et al., 2013; Abdallah Alnuwaiser, 2019; Akintunde et al., 2023; Akter; Rahman; Chowdhury, 1998; Al Satar; Sachit, 2021; AL-Heety; Hasan; Al-Heety, 2021; Al-Zubaidi; Kadhim; Al-Mosawi Walaa, 2024; Alamgir et al., 2023; Ali; Ahmad, 2025; Alonso-Hernández et al., 2011; Aly et al., 2024; Amanfo; Nyarko; Jaime, 2014; Anyakora et al., 2011; Bai; Zhao, 2020; Barbier et al., 1999; Bashir et al., 2022; Baum et al., 2021; Bayrak et al., 2022; Birch, 2024; Bober et al., 2004; Borgens, 2019; Brasil, 2019; Bray; Cohen, 2010; Briant et al., 2013; Bricka; Williford; Jones, 1994; Broomandi et al., 2020; Brown; Peake, 2006; Buckler; Granato, 1999; Cassi; Tolosa; Mora, 2008; Castrec et al., 2023; Cavallet; De Carvalho; Fortes Neto, 2013; Chaemiso; Nefo, 2019; Chen et al., 2023; Cheng et al., 2018; Chiu et al., 2006; Chou et al., 2002; Chowdhury; Rasid, 2016; Cosentino, 2023; Cukrov et al., 2011; Ćwieląg-Drabek; Furman; Gut-Pietrasz, 2025; Dabrowska; Łopata; Osial, 2021; Davenport; Switalski, 2006a; Deguenon et al., 2022; Delgado et al., 2023a, 2023b; Dhenkula et al., 2025; Eghbali; Mousavi; Ziarati, 2014; Elhadj et al., 2024; EPA, 1993, 2001, 1993, 1976; Espinoza Guillen et al., 2022; Fayiga, 2018; Flyhammar, 1997; Foteinis; Kallithrakas-Kontos; Synolakis, 2013; Franco et al., 2022; Gao et al., 2019; Gebka; Bełdowski; Bełdowska, 2016; Ghasemi; Masoudirad, 2020; Gokcekush et al., 2007; Gu; Li; Zhang, 2013; Gyimah et al., 2022; Hahladakis; Stylianos; Gidarakos, 2013; Hand, 2021; Huber; Welker; Helmreich, 2016; He; Yang; Stoffella, 2005; Hilliges; Schriewer; Helmreich, 2013; Hope; Pillsbury; Boling, 2012; Hossain et al., 2025; Huber; Welker; Helmreich, 2016; Ibe et al., 2018; Ilaboya, 2024; Idowu et

al., 2020; IMO, 2011; International Finance Corporation, 2007; Iwegbue et al., 2019; Jenkins; Russell, 1994; Jian et al., 2024; Jiao et al., 2023; Juanes et al., 2006; Kapsimalis et al., 2010; Kim et al., 2024; Kim, 2015; Kiurski et al., 2016; Kokorīte et al., 2008; Krajnović; Smolek, 2024; Lee et al., 2021; Lee; Shin; Oh, 2025; Lim et al., 2013; Liu et al., 2021; Löf; Ericsson; Löf, 2022; Manaadiar, 2023; Mendiguchía et al., 2006; Moreno et al., 2010; Mrozek et al., 2006; Nandan; Siddiqui; Kumar, 2019; Ngbejume; Anegbe; Okafor, 2022; Nriagu; Pacyna, 1988; Onianwa; Jaiyeola; Egekenze, 2001; Osial, 2021; Oteyola; Oladimeji, 2021; Özşeker et al., 2025; Partal; Murat Hocaoglu; Yigit, 2024; Perez et al., 2025; Pibul; Jawjit; Yimthiang, 2023; Pochodyła-Ducka; Glińska-Lewczuk; Jaszczak, 2023; Puthran; Patil, 2023; Ranjbar Jafarabadi et al., 2017; Rao; Rao, 1997; Rindelaub et al., 2021; Rogowska et al., 2015; Sahin; Vardar, 2020; Serup; Kluger; Bäumler, 2015; Shaharoona et al., 2019; Sirinara et al., 2023; Skorbiłowicz; Sidoruk, 2025; Somasundaram et al., 2014; Sörme; Lagerkvist, 2002; Sultana et al., 2022; Talib; Abdulateef; Ali, 2021; Tatone et al., 2013; Tiwari et al., 2011; Trokhymenko et al., 2023; Turner, 2019; Ullah et al., 2025; Wallace; Buha Djordjevic, 2020; Wan et al., 2023; Wang et al., 2010; Watson et al., 2022; Wu; Reichart; Kraal, 2025; Yu et al., 2018; Zhang et al., 2023, 2015)

Quadro 61. Metais pesados introduzidos no ambiente costeiro pelas principais atividades socioeconômicas baseadas em terra.

Atividades realizadas em terra											
Seção / Metal pesado aportado		Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco
		As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn
A	Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura	■	■	■	■	■	■	■	■		■
B	Indústrias Extrativas	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
C	Indústrias de Transformação	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
D	Eletricidades, Gás e Outras Utilidades	■	■	■	■	■	■		■		■
E	Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação / Saneamento Básico	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
F	Construção	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
G	Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas	■	■	■	■	■		■	■		■
H	Transporte, Armazenagem e Correio	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
J	Informação e Comunicação	■	■	■	■	■	■	■	■		■
M	Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
N	Atividades administrativas e serviços complementares	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
O	Administração Pública, Defesa e Seguridade Social	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
P	Educação		■	■	■	■	■	■	■		■
Q	Saúde humana e serviços sociais	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
R	Artes, cultura, esporte e recreação	■	■	■	■	■		■	■		■
S	Outras atividades de serviços	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

4.4.4. Fontes de metais pesados decorrentes de atividades humanas realizadas na água

E, no que tange às principais atividades socieconômicas realizadas na água e substratos da região costeira caracterizadas como potencialmente introdutoras de metais pesados nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande por meio de abordagem inicial, Quadro 62, a partir das referências consultadas (Al-Zubaidi; Kadhim; Al-Mosawi Walaa, 2024; Alamgir et al., 2023; Barbier et al., 1999; Bayrak et al., 2022; Briant et al., 2013; Cassi; Tolosa; Mora, 2008; Castrec et al., 2023; Chen et al., 2023; Chiu et al., 2006; Chou et al., 2002; Chowdhury; Rasid, 2016; Cukrov et al., 2011; Dabrowska; Łopata; Osial, 2021; Davenport; Switalski, 2006a; Delgado et al., 2023a, 2023b; Elhadj et al., 2024; EPA, 1993, 2001; Foteinis; Kallithrakas-Kontos; Synolakis, 2013; Hahladakis; Stylianos; Gidarakos, 2013; Hand, 2020; Jian et al., 2024; Juanes et al., 2006; Kapsimalis et al., 2010; Kim, 2015; Lee; Shin; Oh, 2025; Lim et al., 2013; Lim et al., 2022; Manaadiar, 2023; Mendiguchía et al., 2006; Özşeker et al., 2025; Pan et al., 2016; Perez et al., 2025; Rao; Rao, 1997; Rogowska et al., 2015; Sultana et al., 2022; Tatone et al., 2013; Turner, 2017; Wu; Reichart; Kraal, 2025)

Quadro 62. Metais pesados introduzidos no ambiente costeiro pelas principais atividades socioeconômicas realizadas na água e substrato das regiões costeiras.

Atividades realizadas na água e substrato											
Seção \ **Metal pesado aportado**		**Arsênio**	**Cádmio**	**Chumbo**	**Cobre**	**Cromo**	**Mercúrio**	**Manganês**	**Níquel**	**Estanho**	**Zinco**
		As	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Sn**	**Zn**
A	Pesca e Aquicultura		■	■	■	■		■	■		■
B	Indústrias Extrativas	Na dependência dos metais pesados existentes na região e background									
E	Drenagem urbana e emissários submarinos		■	■	■	■	■	■	■		■
H	Transporte aquaviário, portos, estaleiros, marinas, embarcações e manutenção das vias navegáveis	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
O	Forças armadas – Marinha	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

4.5. Avaliação espaço-temporal dos metais pesados no sedimento de fundo das três baías fluminenses entre 1980 e 2022

Esta seção foi elaborada a partir das informações extraídas do banco de dados "Metais pesados no sedimento das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande", atualizado e complementado com informações relacionadas ao substrato das baías, incluindo hidrografia, bacias hidrográficas e região costeira. Os registros disponíveis para os metais pesados nas três baías foram agrupados por décadas, sempre que possível, para a elaboração dos respectivos mapas temáticos. As séries temporais abrangendo o período de dados disponíveis para cada baia subsidiaram, por sua vez, a construção de gráficos box plot para representação do comportamento da concentração de cada metal pesado ao longo do tempo.

4.5.1. Atualização do banco de dados

A atualização e consolidação do banco de dados geoquímicos constituíram etapa fundamental deste estudo para a posterior compreensão da variabilidade espaço-temporal dos metais pesados nas três baías fluminenses.

Conforme delineado no Método de Trabalho, Seção 3.1. Atualização do banco de dados “Metais pesados no sedimento das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande”, o banco de dados foi avaliado, complementado e atualizado a partir da localização, triagem e utilização de dados disponíveis em publicações científicas e técnicas para cada uma das baías.

4.5.1.1. Inventário da bibliografia

O banco de dados inicial foi estruturado a partir de 35 contribuições técnico-científicas listadas no Anexo 8.1. Apêndice 1 - Autores, títulos, ano de publicação e disponibilidade do documento na rede do banco de dados inicial, página 398.

Importante ressaltar que as publicações cujos endereços eletrônicos (links) não foram localizados, ou que não possuíam acervo digital disponível, não puderam ser conferidas e validadas. Os dados listados, portanto, foram utilizados com tal ressalva.

E restringiram a conferência de parcela de dados e metadados do banco de

dados inicial. Com exceção dos dados que puderam ter a consistência validada a partir do cruzamento com citações em obras posteriores.

4.5.2. Ampliação e atualização do banco de dados

A complementação e atualização do banco de dados decorreu da incorporação de dados apresentados por artigos científicos, monografias, dissertações, teses e relatórios técnicos, Quadro 1.

Quadro 63. Tipos de publicações e documentos científicos utilizados como fonte de dados para o presente estudo.

Tipo de documento	Atividade realizada
Artigos e publicações científicas	Consultadas as bases Scopus e PubMed
Monografia, dissertação, tese;	Consultados banco de monografias, dissertações e teses de diversas instituições – ver Quadro
Banco de dados disponíveis com pesquisadores.	Incorporação de dados das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande em planilhas de pessquisadores
Relatório para monitoramento ambiental tanto do órgão licenciador estadual como do federal	Consultados relatórios em papel disponíveis na biblioteca do INEA
Relatórios técnicos outros	Solicitado acesso à ouvidoria do INEA sem retorno até então.

Pesquisa nas bases de dados Scopus e PubMed a partir dos critérios de busca definidos e apresentados na Seção 3.1. , abarcando o período compreendido entre 1991 e 2025 e obtendo os resultados apresentados no Quadro 64.

Quadro 64. Número de artigos científicos identificados para cada uma das baías estudadas nas bases de dados Scopus e PubMed.

Baía	Critérios para busca	Base Scopus		Base PubMed	
		n.° Artigos	Artigos selecionados	n.° Artigos	Artigos selecionados
Guanabara	Guanabara Bay sediment metal	95	**69**	44	**36**
Sepetiba	Sepetiba Bay sediment metal	68	**55**	30	**26**
Ilha Grande	Ilha Grande Bay sediment metal	12	**9**	5	**3**
	Paraty sediment metal	2	**2**	-	**-**
	Ribeira bay sediment metal	9	**8**	11	**5**
	Angra dos Reis sediment metal	4	**4**	4	**4**
Total de artigos		190	**147**	94	**74**
Total de artigos identificados		**221**			
Total de artigos descartados por duplicidade e sobreposição geográfica		**130**			
Total de artigos selecionados		**91**			

Observação: artigos selecionados – artigos científicos selecionados a partir do número de artigos (n.° Artigos) identificados em cada uma das bases consultadas.

Ao analisar as 221 publicações identificadas nas duas bases, constatou-se que diversas delas estavam presentes em ambas. Ao mesmo tempo, algumas das publicações atendiam aos critérios de busca para duas ou mais baías, como, por exemplo, as baías de Sepetiba e Ilha Grande, ou região costeira do Rio de Janeiro.

Após tal análise, foram descartadas as publicações em duplicidade e considerada somente uma delas, totalizando, no conjunto, 91 artigos científicos a terem seus dados e informações extraídos.

Concomitantemente, foram identificados em pesquisas na rede, recorrendo aos mesmos critérios de busca utilizados nas bases de dados citadas, artigos científicos não indexados, também arquivados.

A produção acadêmica das instituições de ensino e pesquisa sediadas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro demonstrou ser a principal fonte de dados primários, com destaque para as contribuições de pesquisadores da Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), que, juntas, constituíram a maior parte do acervo de publicações, teses e dissertações cujos dados passaram a constituir o inventário, Quadro 65.

Quadro 65. Monografias de conclusão de cursos, dissertações de mestrado e teses de doutorado nas universidades da região relacionadas ao objeto de estudo.

Instituição	Baía de Guanabara			Baía de Sepetiba			Baía de Ilha Grande		
	Dout.	Mestr.	TCC	Dout.	Mestr.	TCC	Dout.	Mestr.	TCC
Universidade Federal Fluminense – UFF		11	1	12	16	5	2	5	
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ	4	10		2	2				
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ		1		1	2		2	2	
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ	4	10		2	2				
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC Rio								1	
Universidade de Brasília - UNB				1					
Instituto Oceanográfico - USP	1								
Total por tipo de trabalho	**9**	**32**	**1**	**18**	**22**	**5**	**4**	**8**	
Total TCC	**6**								
Total Dissertações de Mestrado	**62**								
Total de Teses de Doutorado	**31**								
Total de documentos acadêmicos de pesquisa	**99**								

Para cada publicação ou documento acadêmico aderente ao objeto desta Tese, deu-se o registro da localização geográfica das amostras e concentrações dos analitos associados. Conforme estabelecido no método, as coordenadas foram uniformizadas para o sistema UTM (SIRGAS 2000) e as concentrações convertidas para $mg \cdot kg^{-1}$ (ppm). Elementos como alumínio (Al), ferro (Fe) e manganês (Mn),

frequentemente reportados em porcentagem ou partes por mil, foram igualmente normalizados para ppm.

4.5.2.1. Estrutura do banco de dados atualizado

O banco de dados complementado até novembro de 2025, totalizou 1.536 pontos de coleta e 9.833 amostras analisadas para determinação da concentração de metais pesados no sedimento de fundo das três baías.

No presente estudo, o esforço foi direcionado apenas para os resultados obtidos nas baías. Dados referentes aos metais pesados no sedimento dos rios afluentes às baías e região costeira serão analisados oportunamente, com o prosseguimento do estudo.

A síntese quantitativa de cada uma das baías, Quadro 66, demonstra que a Baía de Sepetiba detém o maior número de amostras de sedimento superficial coletadas, 642 pontos, seguida pela Baía de Guanabara, 474 locais, e Baía de Ilha Grande, 415 amostras.

Quadro 66. Número de amostras de sedimento para avaliação de metais pesados, publicações e anos de coleta para as baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.

Região estudada		Número de		Período de coleta	Número de analitos amostrados e analisados				
		Pontos de coleta	Autores / publicações		Mínimo	MP	Máximo	MP	Total de analitos analisados
Baía de Guanabara	Substrato da baía	337	9	1980 a 2015	33	Cd	329	Zn	2185
	Rios afluentes	99	5	1980 a 2010	12	Cd	93	Zn	562
	Região costeira e Polígono de Disposição Oceânica – PDO	38	5	1980 a 2017	24	Ni	38	Zn	196
	Totais Baía de Guanabara	**474**	**19**	**1980 a 2015**	**69**	**Cd, Ni**	**460**	**Zn**	**2.943**
Baía de Sepetiba	Substrato da baía	556	16	1980 a 2022	242	Hg	556	Cd	3.577
	Rios afluentes	61	4	1991 a 2009	50	Cd	61	Zn	111
	Totais Baía de Sepetiba	**642**	**27**	**1980 a 2022**	**292**	**Hg, Cd**	**617**	**Cd, Zn**	**3.688**
Baía de Ilha Grande	Substrato da baía	420	9	2001 a 2013	14	Hg	420	Zn	3.202
	Totais Baía de Ilha Grande	**420**	**9**	**2001 a 2013**	**14**	**Hg**	**420**	**Zn**	**3.202**
Total de pontos de coleta, publicações e número de analitos analisados		**1.536**	**55**	**1980 a 2022**	**375**		**1.497**		**9.833**

Observação: MP – metal(is) pesado(s).

Quanto ao número de amostras para determinação da concentração de metais pesados nas três baías, Quadro 67, Zinco (Zn), Chumbo (Pb) e Níquel (Ni) foram os elementos mais analisados. Enquanto mercúrio (Hg) apresentou o menor número de análises, especialmente na Baía de Ilha Grande.

Quadro 67. Número de amostras analisadas para cada um dos analitos considerados no substrato, rios afluentes e região oceânica adjacente às baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.

Região estudada		Número de amostras coletadas para cada analito										
		Al	Fe	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn	Total de amostras coletadas
Baía de Guanabara	Substrato da baía	119	275	33	196	246	194	186	299	308	329	2185
	Rios afluentes		96	12	47	72	84	9	69	80	93	562
	Região costeira e Polígono de Disposição Oceânica - PDO		21	0	30	27	0	25	24	31	38	196
	Total de amostras coletadas na Baía de Guanabara	**119**	**392**	**45**	**273**	**345**	**278**	**220**	**392**	**419**	**460**	**2.943**
Baía de Sepetiba	Substrato da baía	131	276	556	382	351	242	251	425	425	538	3.577
	Rios afluentes			50							61	111
	Total de amostras coletadas na Baía de Sepetiba	**131**	**276**	**606**	**382**	**351**	**242**	**251**	**425**	**425**	**599**	**3.688**
Baía de Ilha Grande	Substrato da baía	152	152	406	420	415	14	397	407	419	420	3.202
	Total de amostras coletadas na Baía de Ilha Grande	**152**	**152**	**406**	**420**	**415**	**14**	**397**	**407**	**419**	**420**	**3.202**
Total de amostras coletadas nas três baías		**402**	**820**	**1.057**	**1.075**	**1.111**	**534**	**868**	**1.224**	**1.263**	**1.479**	**9.833**

A malha amostral com os pontos de coleta nas três baías, após atualização do banco de dados, mas antes da revisão dos pontos de coleta, alguns deles desconsiderados por incoerência da posição e/ou coordenadas geográficas, é apresentada na Figura 109.

E, em seguida, a localização dos pontos de coleta e cálculos estatísticos básicos para os conjuntos de dados da Baía de Guanabara, Figura 110 e Quadro 70; Baía de Sepetiba, Figuras 112 e Quadro 73; e Baía de Ilha Grande, Figura 113 e Quadro 76.

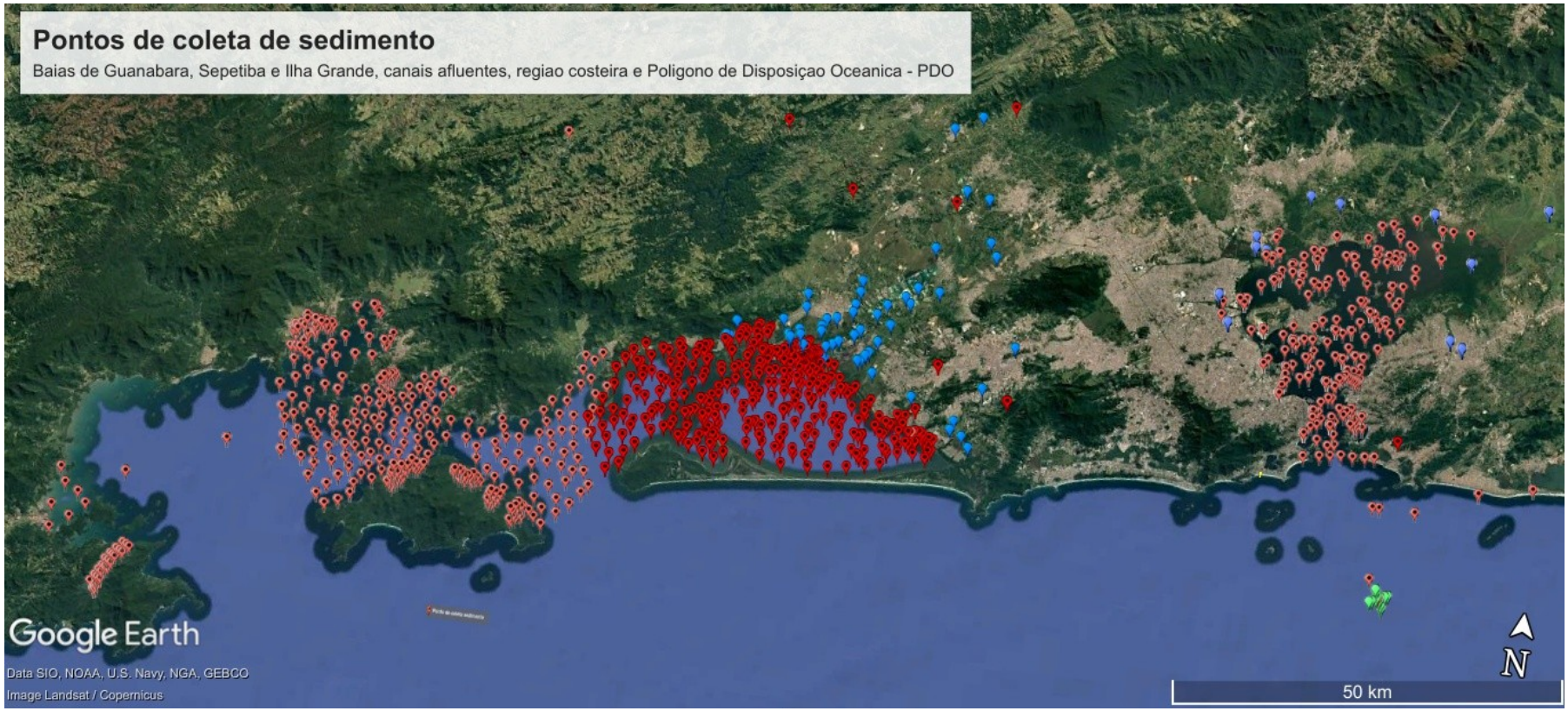


Figura 109. Vista geral da área de estudo com os pontos de coleta de sedimento superficial, canais afluentes, região costeira e Polígono de Disposição Oceânica – PDO, nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande.

4.5.3. Síntese das informações a respeito do banco de dados geoquímicos atualizado para as baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande

4.5.3.1. Baía de Guanabara - amostras coletadas entre 1980 e 2002

O conjunto de amostras foi agrupado em décadas, Quadro 68, com destaque para a grande variação no número de amostras, em cada campanha, para análise de metais pesados.

Quadro 68. Número de amostras de sedimento analisadas para determinação de metais pesados na Baía de Guanabara, agrupadas por décadas.

Baía de Guanabara				
Década	**Anos**	**Número das linhas dos registros**		**Total de amostras de sedimento coletadas por década**
1980	1980	Início	2	134
	1987	Final	136	
1990	1991	Início	137	76
	1999	Final	213	
2000	2000	Início	214	39
	2002	Final	253	
2010	2010	Início	254	82
	2015	Final	336	

O número de análises de metais pesados totalizados por décadas também apresentou grande variação no período, Quadro 69.

Quadro 69. Número de amostras de sedimento analisadas para cada metal pesado por década na Baía de Guanabara.

Número de amostras analisadas – Baía de Guanabara									
Décadas	**Cd**	**Cr**	**Cu**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**	**Total análises de metais pesados por década**
1980	8	63	98	126	3	104	111	127	**640**
1990	0	76	75	0	77	73	75	77	**453**
2000	0	38	24	0	23	39	39	40	**203**
2010	77	81	85	68	83	83	83	85	**645**
Total / analito	**85**	**258**	**282**	**194**	**186**	**299**	**308**	**329**	**1.941**

E, na Figura 110, o conjunto dos pontos de coleta amostrados ao longo do período considerado, com a ressalva de que diversas amostras foram coletadas nas mesmas posições.

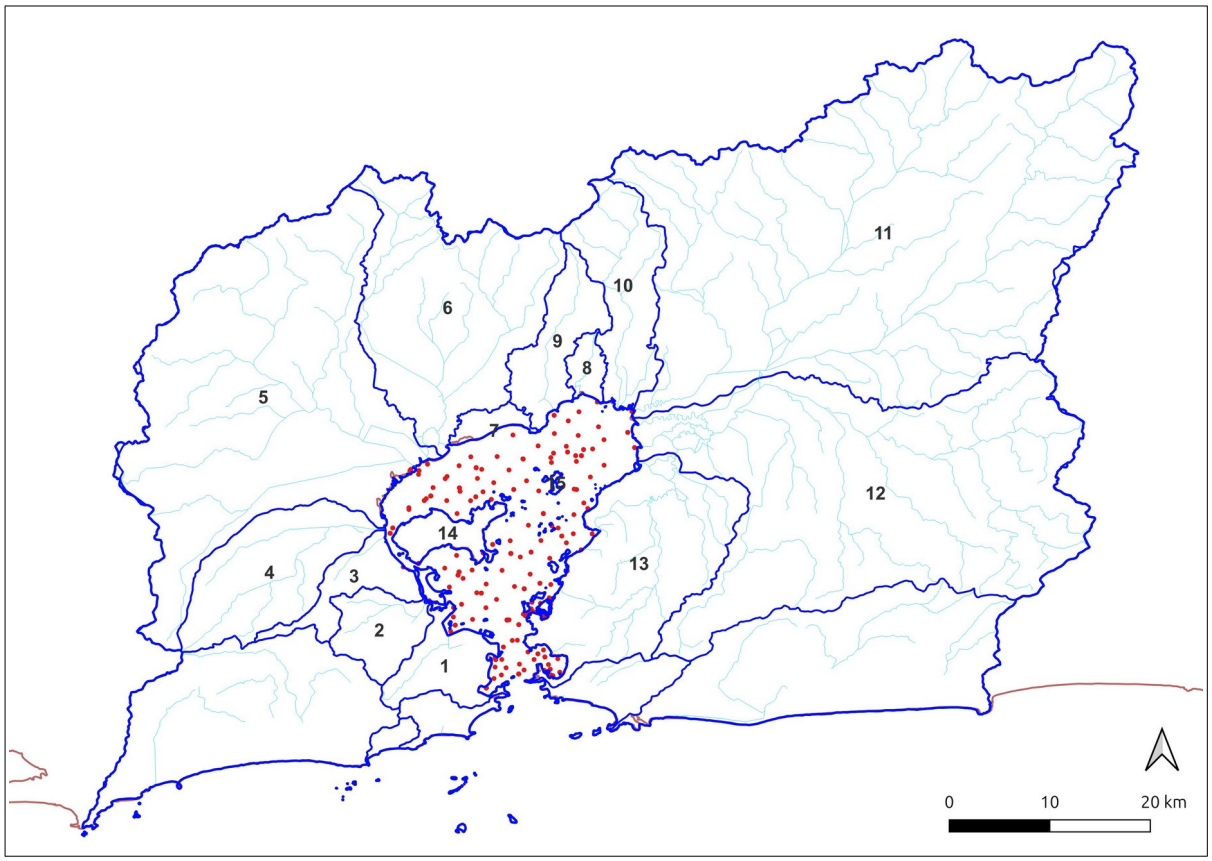


Figura 110. Hidrografia, bacias hidrográficas e pontos de coleta de sedimento superficial na Baía de Guanabara.

O Quadro 5 sintetiza o número de amostras para cada metal pesado objeto do presente estudo – cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) -, média, valor máximo, valor mínimo, desvio padrão e variância da população amostrada.

Além de, quando identificado na bibliografia, o nível de base, ou background, para cada metal pesado.

Bem como as concentrações de cada um deles para atingir o Nível 1 e Nível 2 em sedimento de ambientes com águas salobras e salinas, estabelecidas pela Resolução CONAMA n.° 454/2012, para fins de dragagem e definição do local de disposição, se na água ou em terra. Ressaltando que se trata do principal instrumento normativo existente no Brasil para essa temática (CONAMA, 2012).

Destacando-se que ocorreram valores anômalos para as concentrações de metais pesados em algumas amostras.

Quadro 70. Número de amostras e estatística básica para cada conjunto de analitos analisados a partir de coleta de sedimento de fundo no substrato da Baía de Guanabara, entre 1980 e 2002.

Analito / Estatística Básica e referências		Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Numero amostras		85	258	282	194	186	299	308	329
Média		2,0	15.570,0	63,7	1,14	411,2	27,3	58,3	387,5
Máximo		60,0	210.333,0	223.491,0	12,67	1.857,3	112,7	230,0	2.083,0
Mínimo		0,1	2,0	2,0	0,11	2,0	0,1	1,5	0,2
DP P		7,15	386,29	101,13	2,11	399,33	20,54	43,48	457,09
Var. P		50,50	148.638,39	10.191,39	4,45	158.610,20	420,62	1.884,56	208.298,55
Nível de Base / Background		0,6 (+/- 0,15)	37,2 (+/- 4,6)	4,6 (+/- 0,71)	0,1*	12,3 (+/- 2,04)	7,8 (+/- 1,76)	54,1 (+/- 10,1)	55,1 (+/- 10,1)
Referências Nível de Base / Background		Cordeiro et al. (2021) – 1			KCl (2016) – 2	Cordeiro et al. (2021) – 1			
Resolução CONAMA n° 454/2012	Nível 1	1,2	81,0	34,0	0,30	20,9	46,7	150,0	151,0
	Nível 2	7,2	370,0	270,0	1,00	51,6	218,0	410,0	411,0

Observações -
Informações a respeito do nível de base/background para a Baía de Guanabara foram obtidas em:
CONAMA. Resolução 454 - Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. 2012.
1 - CORDEIRO, R. C. *et al.* Environmental and anthropic variabilities at Guanabara Bay (Brazil): A comparative perspective of metal depositions in different time scales during the last 5,500 yrs. **Chemosphere**, v. 267, p. 128895, 2021.
2 - KCI TECHNOLOGIES. **Metais e Sedimentos/Metals and Sediments**. Maryland, EUA: University of Maryland Center for Environmental Science, 2017. Disponível em: <https://www.umces.edu/sites/default/files/Metais%20e%20Sedimentos_Metals%20and%20Sediments.pdf>.
Informações detalhadas na Planilha com dados metais pesados sedimento de fundo Baía de Guanabara.

4.5.3.2. Baía de Sepetiba – amostras coletadas entre 1980 e 2022

O conjunto de amostras disponíveis para a Baía de Sepetiba foi agrupado em décadas, Quadro 71, no qual também ocorreu grande variação em relação aos tipos de metais pesados analisados em cada campanha.

Quadro 71. Número de amostras de sedimento analisadas para determinação de metais pesados na Baía de Sepetiba, agrupadas por décadas.

Década	Anos	Número das linhas dos registros		Total de amostras de sedimento coletadas por década
1980	1980	Início	2	11
	1989	Final	13	
1990	1991	Início	13	125
	1999	Final	138	
2000	2000	Início	138	140
	2002	Final	278	
2010	2010	Início	278	236
	2015	Final	514	
2020	2022	Início	514	44
		Final	558	
Total de amostras coletadas entre 1985 e 2022				**556**

Como demonstrado, especificamente, para cada metal pesado analisado, também agrupados por décadas, Quadro 72.

Quadro 72. Número de amostras de sedimento analisadas para cada metal pesado por década na Baía de Sepetiba.

Número de amostras de sedimento analisadas na Baía de Sepetiba									
Décadas	**Cd**	**Cr**	**Cu**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**	**Total análises de metais pesados por década**
1980	11	0	0	0	0	0	0	11	**22**
1990	125	23	19	33	34	34	34	125	**427**
2000	140	102	85	80	84	112	112	140	**855**
2010	236	213	212	129	133	235	235	218	**1.611**
2020	44	44	35	0	0	44	44	44	**255**
Total de amostras de metais pesados analisados	**556**	**382**	**351**	**242**	**251**	**425**	**425**	**538**	**3.170**

Com relação à malha amostral adotada, variou em cada uma das campanhas realizadas em 1980, 1989, 1991, 1993, 1995, 1996, 2000, 2001, 2003, 2005, 2008, 2010, 2011, 2012, 2015 e 2022, Figura 111. Enquanto que, na Figura 112, a posição de todos os pontos de coleta na Baía de Sepetiba entre 1980 e 2022.

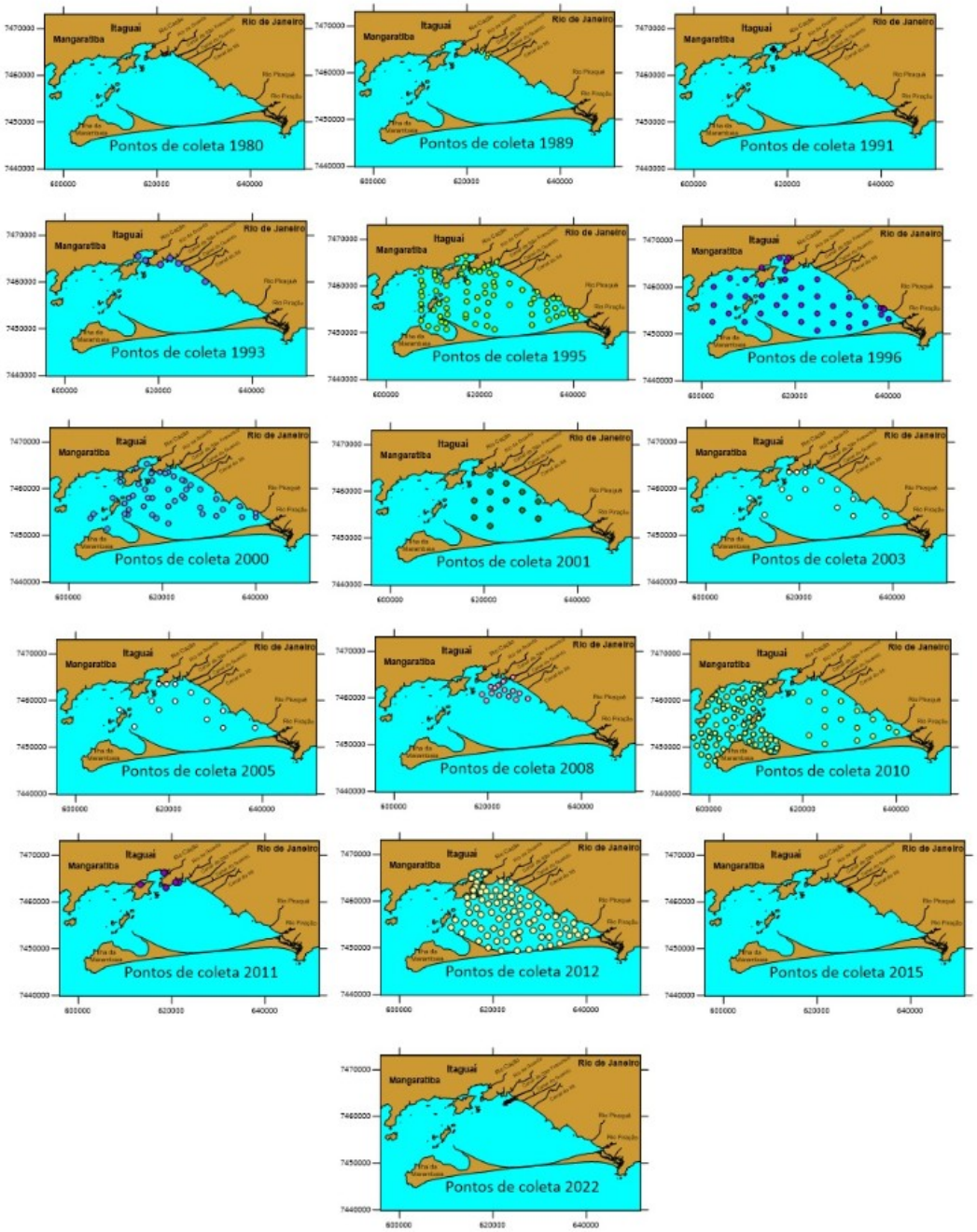


Figura 111. Malha amostral utilizada nas coletas realizadas entre 1980 e 2022.

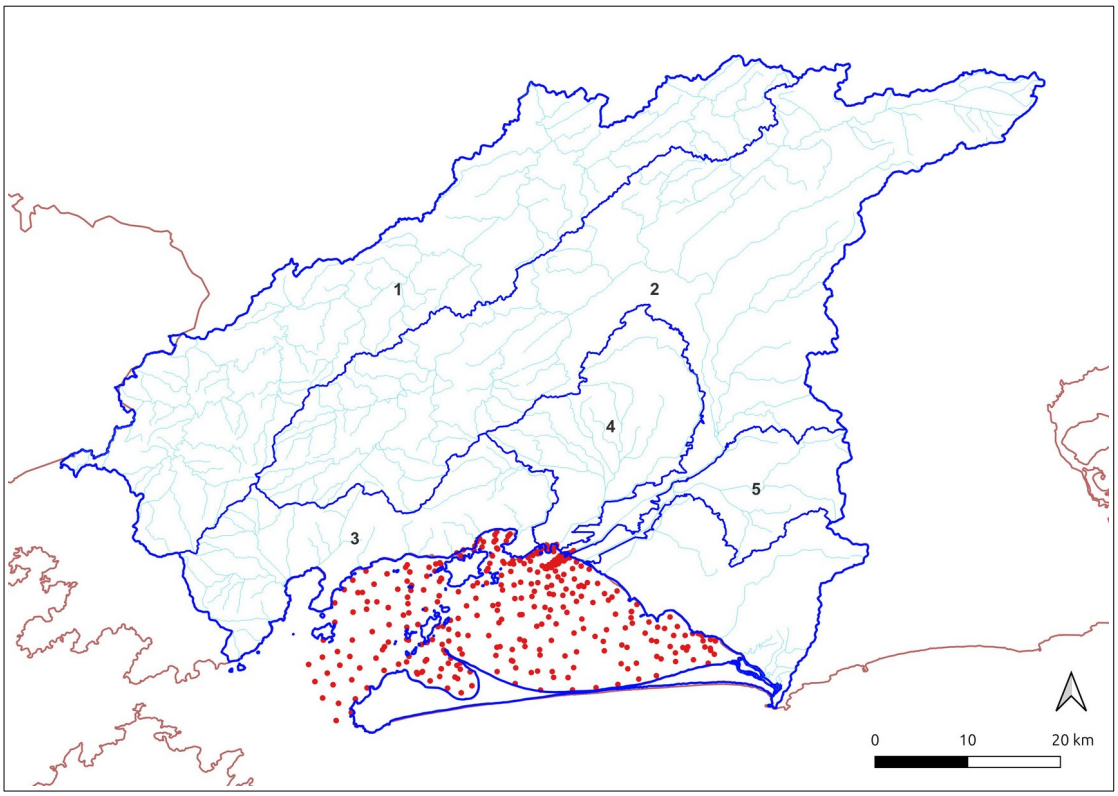


Figura 112. Hidrografia, bacias hidrográficas e pontos de coleta de sedimento superficial na Baía de Sepetiba.

O Quadro 73 sintetiza o número de amostras para cada metal pesado objeto do presente estudo – cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) -, média, valor máximo, valor mínimo, desvio padrão e variância da população amostrada.

Além de, quando identificado na bibliografia, o nível de base, ou background, para cada metal pesado.

Bem como as concentrações de cada um deles para atingir o Nível 1 e Nível 2 em sedimento de ambientes com águas salobras e salinas, estabelecidas pela Resolução CONAMA n.° 454/2012, para fins de dragagem e definição do local de disposição, se na água ou em terra. Ressaltando que se trata do principal instrumento normativo existente no Brasil para essa temática (CONAMA, 2012).

Chamando a atenção para os valores anômalos nas concentrações de metais pesados em algumas amostras.

Quadro 73. Número de amostras e estatística básica para cada conjunto de analitos analisados a partir de coleta de sedimento de fundo no substrato da Baía de Sepetiba, entre 1980 e 2022.

Analito / **Estatística Básica e referências**		**Cd (ppm)**	**Cr (ppm)**	**Cu (ppm)**	**Hg (ppm)**	**Mn (ppm)**	**Ni (ppm)**	**Pb (ppm)**	**Zn (ppm)**
Numero amostras		568	469	441	244	254	441	441	550
Média		3,0	40,1	36,7	0,2	506,6	13,4	19,7	510,6
Máximo		67,4	555,0	1.160,0	8,0	7.225,0	51,0	140,0	9.300,0
Mínimo		0,1	0,1	0,1	0,1	20,0	0,1	0,3	0,4
DP P		6,0	35,3	80,6	0,8	549,2	9,4	11,6	730,2
Var. P		152.961,9	179.350,2	211.076,7	251.591,5	280.015,2	262.598,5	355.491,5	533.167,9
Nível de Base / Background		0,5 (+/- 0,1)	68 (+/- 4,8)	14,4 (+/- 1,8)	30*	433 (+/- 61)	23,4 (+/- 2,0)	24,2 (+/- 1,1)	82,6 (+/- 11,0)
Referências Nível de Base / Background		Pinto et al. (2019) – 3			Silva et al. (2003) – 4	Pinto et al. (2019) – 3			
Resolução CONAMA n° 454/2012	Nível 1	1,20	81,0	34,0	0,300		20,9	46,7	150,0
	Nível 2	7,20	370,0	270,0	1,000		51,6	218,0	410,0

Observações:
Informações a respeito do nível de base/background para a Baía de Sepetiba foram obtidas em
CONAMA. Resolução 454 - Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. 2012.
3 - PINTO, Anita Fernandes Souza *et al.* background concentrations of chemical elements in Sepetiba Bay (SE Brazil). **Journal of Sedimentary Environments**, v. 4, n. 1, p. 108–123, 2019.
4 - SILVA, L. F. F. *et al.* Mercury accumulation in sediments of a mangrove ecosystem in SE Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 145, n. 1, p. 67–77, 2003.

Informações detalhadas na Planilha com dados metais pesados sedimento de fundo Baía de Sepetiba.

4.5.3.3. Baía de Ilha Grande – amostras coletadas entre 2001 e 2013

O conjunto de amostras disponíveis foi agrupado em décadas, como realizado com outras duas baías, Quadro 74, ressaltando que o número de amostras de sedimento coletadas apresentaram grande variação em cada uma das campanhas.

Quadro 74. Número de amostras de sedimento analisadas para determinação de metais pesados na Baía de Ilha Grande, agrupadas por décadas.

Década	Anos	Número das linhas dos registros		Total de amostras de sedimento coletadas por década
2000	2001	Início	1	153
	2008	Final	154	
2010	2010	Início	155	267
	2013	Final	422	
Total de amostras coletadas entre 1980 e 1999				**420**

Tal qual os metais pesados analisados, também totalizados por décadas, Quadro 75.

Quadro 75. Número de amostras de sedimento analisadas para cada metal pesado por década na Baía de Ilha Grande.

Número de amostras analisadas – Baía de Ilha Grande									
Décadas	**Cd**	**Cr**	**Cu**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Pb**	**Zn**	**Total análises de metais pesados por década**
2000	151	153	153	14	140	140	152	153	**1.056**
2010	255	267	262	0	257	267	267	267	**1.842**
Total de amostras de metais pesados analisados	**406**	**420**	**415**	**14**	**397**	**407**	**419**	**420**	**2.898**

A localização dos pontos de coleta de sedimento de fundo da Baía de Ilha Grande entre 2000 e 2013 é apresentada na Figura 113.

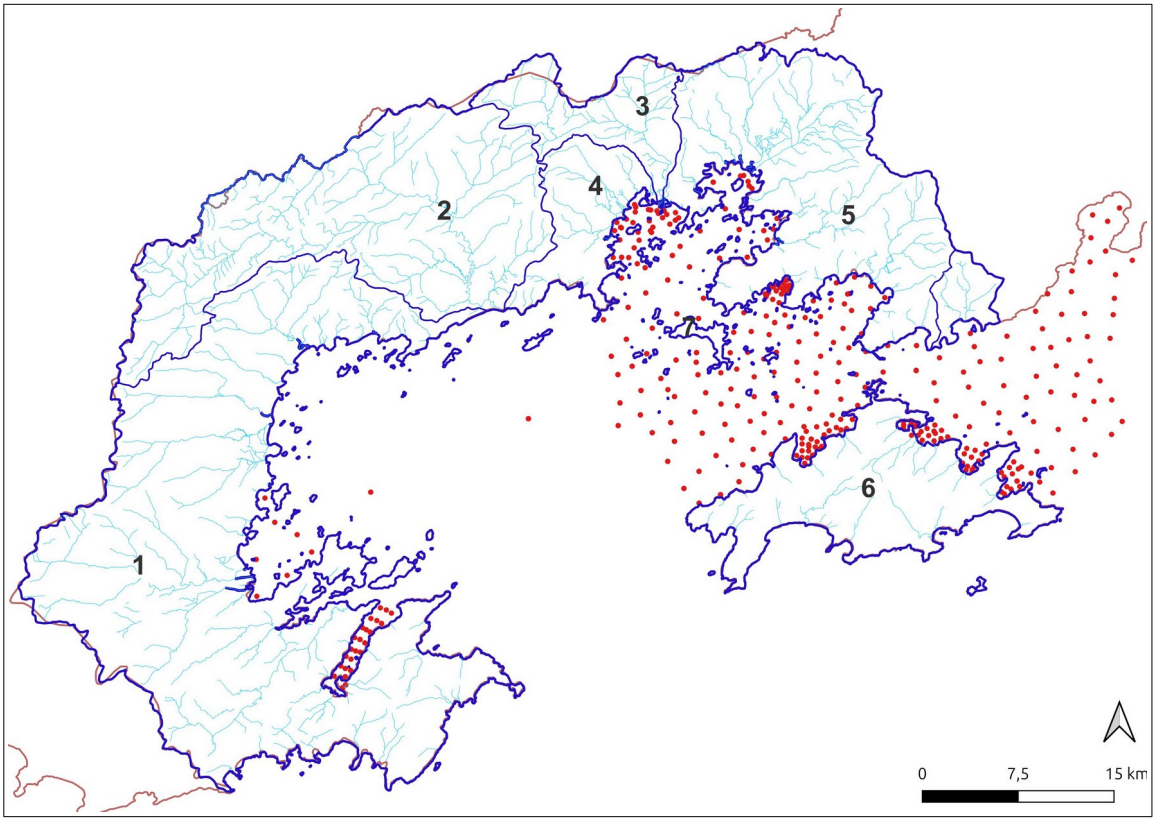


Figura 113. Hidrografia, bacias hidrográficas e pontos de coleta de sedimento na Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande.

O Quadro 76 sintetiza o número de amostras para cada metal pesado objeto do presente estudo – cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) -, média, valor máximo, valor mínimo, desvio padrão e variância da população amostrada.

Além de, quando identificado na bibliografia, o nível de base, ou background, para cada metal pesado.

Bem como as concentrações de cada um deles para atingir o Nível 1 e Nível 2 em sedimento de ambientes com águas salobras e salinas, estabelecidas pela Resolução CONAMA n.° 454/2012, para fins de dragagem e definição do local de disposição, se na água ou em terra. Ressaltando que se trata do principal instrumento normativo existente no Brasil para essa temática (CONAMA, 2012).

Com o alerta para os valores anômalos das concentrações de metais pesados em algumas amostras.

Quadro 76. Número de amostras e estatística básica para cada conjunto de analitos analisados a partir de coleta de sedimento de fundo no substrato da Baía de Ilha Grande, entre 2001 e 2013.

Analito / Estatística básica e referências		Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Numero amostras		406	420	415	14	397	407	419	420
Média		0,62	54,28	22,04	2,07	443,47	18,87	18,18	78,13
Máximo		4,70	243,00	706,00	28,00	2.090,0	68,00	87,70	788,80
Mínimo		0,10	1,00	0,30	0,12	8,78	0,29	1,21	5,54
DP P		0,69	38,51	52,49	7,46	324,36	11,33	9,53	62,74
Var, P		0,48	1.479,80	2.748,09	51,73	104.941,78	128,12	90,53	3.927,29
Nível de Base / Background		0,9**	32,9 (+/- 4,1)	9,75 (+/- 2,35)	0,032 (+/- 0,02)*	186,6 (+/- 81,54)	13,4 (+/- 2,6)	15,8 (+/- 7,2)	78,6 (+/- 13,8)
Referências Nível de Base / Background		Souza et al. (2021) – 6	Cunha (2005) – 5		Cardoso et al. (2001) – 7	Cunha (2005) – 5			
Resolução CONAMA n° 454/2012	Nível 1	1,20	81,00	34,00	0,30		20,90	46,70	150,00
	Nível 2	7,20	370,00	270,00	1,00		51,60	218,00	410,00

Observações -
Informações a respeito do nível de base/background para a Baía de Guanabara foram obtidas em:

5 - CARDOSO, André G. A. *et al.* Metal Distribution in Sediments from the Ribeira Bay, Rio de Janeiro - Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 12, p. 767–774, dez. 2001.

CONAMA. Resolução 454 - Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. 2012.

6 - CUNHA, Tatiana Silva da. **Cronologia da Deposição de Elementos-Traço nas Baías de Sepetiba e Ilha Grande (RJ)**. Dissertação de Mestrado: Universidade Federal Fluminense - UFF, 2005.

7 - SOUZA, Ariadne Marra de *et al.* Metal concentrations in marine sediments of the Rio de Janeiro Coast (Brazil): A proposal to establish new acceptable levels of contamination. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, p. 112113, abr. 2021.

Informações detalhadas na Planilha metais pesados sedimento de fundo Baía de Ilha Grande.

4.5.4. Análise espaço-temporal da concentração de metais pesados no sedimento de fundo das baías fluminenses

Os dados disponíveis a respeito da concentração de metais pesados no sedimento de fundo das três baías foram analisados por meio de duas abordagens complementares.

A representação e análise espacial se deu por meio do registro dos pontos de coleta associados a cores que indicam a concentração daquele metal em relação ao background, ou nível de base, bem como ao Nível 1 e Nível 2 da Resolução CONAMA n.º 454/2012. Essa Resolução é o instrumento normativo para definição do tipo de disposição a ser adotado para sedimento contaminado a ser dragado em portos e outras obras de engenharia que demandem sua remoção, para disposição em águas jurisdicionais nacionais.

Os critérios adotados para definição da escala colorimétrica são descritos na subseção 3.4.1. Análise espacial, página 58, da seção 3. MÉTODO DE TRABALHO, considerando, como exemplo, a concentração de cádmio no sedimento de fundo da Baía de Guanabara, Quadro 77.

Quadro 77. Escala e legenda para a avaliação da concentração de cádmio (Cd) no sedimento de fundo da Baía de Guanabara, considerando: nível de base, sedimento com presença de metal pesado, Nível 1 e Nível 2, Resolução CONAMA 454/12. Fonte: CONAMA (2012).

Concentração de Cádmio (Cd) no sedimento (ppm) na Baía de Guanabara	
0 – 0,75	Nível superior do Nível de Base (NB) – (NB + Desvio Padrão)
0,751 – 1,19	Sedimento com possível influência antropogênica
1,20 – 7,19	Nível 1 Res. CONAMA 454/12
7,20 e acima	Nível 2 Res. CONAMA 454/12

A representação de variabilidade temporal se deu por meio de gráficos box plots com os resultados para cada metal em cada baía, como descrito na subseção 3.4.2. Análise temporal, página 60, da seção 3. MÉTODO DE TRABALHO.

Os resultados – cartograma com a representação espacial dos pontos de coleta com cores representando o nível de poluição e, ao lado, o gráfico box plot com a variação das concentrações ao longo do tempo, para as três baías - precisaram ser reduzidos para se ajustarem ao tamanho de uma página A4, dificultando sua análise e interpretação, a seguir dispostos.

Os pontos de coleta de sedimento de fundo em cada uma das baías aparentam ser espacialmente distribuídos e representativos. Com exceção das amostras para determinação da concentração de cádmio, na Baía de Guanabara, e mercúrio, nos embaiamentos, em número muito menor que para os demais metais pesados.

Visando auxiliar a leitura, interpretação, análise e avaliação, os cartogramas e gráficos box plots foram inseridos em página A3 e incluídos no Anexo 8.3. - Apêndice 3 - Mapas com pontos de coleta e gráficos box plots para avaliação e comparação do comportamento espaço-temporal da concentração de metais pesados no sedimento de fundo das baías estudadas, página 506.

4.5.4.1. Cádmio (Cd)

A avaliação da concentração de cádmio (Cd) no sedimento de fundo das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande ocorreu por meio da coleta de amostras entre 1980 e 2022, com variação nos anos e número de amostras ano a ano, Quadro 78.

Quadro 78. Quantidade de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de cádmio (Cd), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía.

Concentração de Cádmio (Cd) no sedimento (ppm) na Baía de Guanabara	
0 – 0,75	Nível superior do Nível de Base (NB) – (NB + Desvio Padrão)
0,751 – 1,19	Sedimento com possível influência antropogênica
1,20 – 7,19	Nível 1 Res. CONAMA 454/12
7,20 e acima	Nível 2 Res. CONAMA 454/12

Na Baía de Guanabara, a rarefeita cobertura espacial das amostras de sedimento de fundo coletadas, aliada à superposição – coleta no mesmo ponto em diferentes ocasiões - de diversas delas, indica que a maior concentração de cádmio ocorre próxima à margem oeste.

O comportamento temporal indica que, no início da série histórica, a concentração era mais elevada, muito acima do que constituiria, posteriormente, o nível 2 da Resolução CONAMA n.° 454/12, diminuindo por ocasião das coletas realizadas no início da década de 2000, quando esteve próximo ao nível de base.

A Baía de Sepetiba apresenta boa cobertura de pontos de coleta e demonstra, como seria de esperar, maior concentração de cádmio nas proximidades da região de influência da pluma dos rios Mazomba e Guandu, além dos canais São Francisco e Guandu, nas proximidades da Ilha da Madeira e Porto de Itaguaí, bem como na porção leste como resultado da resultante da corrente que circula no sentido horário na região. Na medida em que se afasta do setor norte da baía, a concentração desse metal pesado diminui.

Com relação à variação temporal, a concentração oscila ao longo do tempo, mas sempre em torno do correspondente ao nível 2 da Res. CONAMA apresentando as mais elevadas concentrações nos anos de 2000 e 2001, incluindo outliers, além de 2009, 2011 e 2015.

A Baía de Ilha Grande apresenta ampla distribuição de pontos de coleta nas regiões com sedimento de fundo com menor granulometria e, na maior parte das situações, baixa concentração de cádmio, com exceção das enseadas de Palmas, Abraão, Sítio Forte e Araçatiba, além do Saco do Céu, em Ilha Grande, além de Jacuecanga e Baía da Ribeira, na porção continental. Na porção oeste, em Paraty, a concentração é acima do nível 1 e chama a atenção, principalmente, para o Saco do Mamanguá, onde não se constata a presença de atividades com potencial de contaminação de metais pesados, a não ser aquelas afeitas ao uso de embarcações pela pesca artesanal, turismo e esporte e recreio.

Quanto ao comportamento temporal, as elevadas concentrações identificadas nas localidades citadas acima podem estar afeitas à outliers, ou valores discrepantes/atípicos, constatados na coleta realizada em 2007 e 2008.

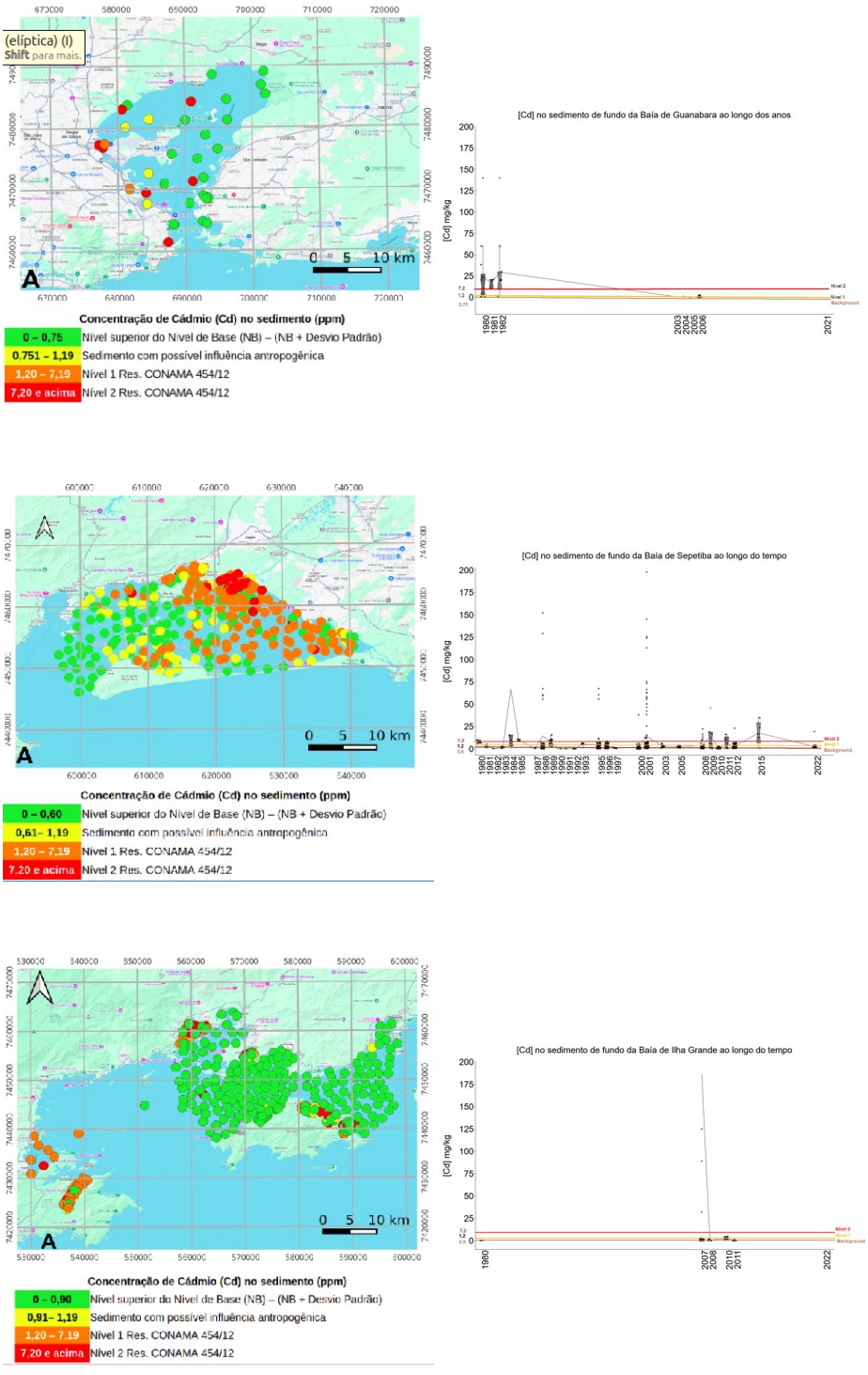


Figura 114. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **cádmio (Cd)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.

4.5.4.2. Chumbo (Pb)

A avaliação da concentração de cádmio (Cd) no sedimento de fundo das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande ocorreu por meio da coleta de amostras entre 1980 e 2022, com variação nos anos e número de amostras ano a ano, Quadro 79.

Quadro 79. Quantidade de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de chumbo (Pb), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía.

Décadas	Baía de Guanabara	Baía de Sepetiba	Baía de Ilha Grande	Total por ano
1980	111			**111**
1990	75	34		**109**
2000	39	112	152	**303**
2010	83	235	267	**585**
2020		44		**44**
Total por baía	**308**	**425**	**419**	**1152**

A Baía de Guanabara apresenta ampla cobertura e distribuição espacial de pontos de coleta ao longo de quatro décadas, apresentando, também, maior concentração, chegando a superar valor correspondente ao nível 2 da Res. CONAMA 454/12 na margem oeste e na Enseada de Jurujuba, em Niterói, permanecendo acima do nível 1 no centro da Baía devido, infere-se, à influência antropogênica na porção nordeste da baía e proximidades da APA de Guapimirim, com valores abaixo do nível 1, mas acima do nível de base constatado, inclusive nas porções centrais desse corpo d'água.

Quanto ao comportamento temporal, maiores concentrações ocorreram no início da década de 1980, com valores médios entre o nível 1 e 2, diminuindo e atingindo valores próximos ao nível de base no final da década de 1990, aumentando e superando o nível 1 na década de 2000. Comportamento da mediana possivelmente alterado devido à existência de valores discrepantes e acima do esperado.

Na Baía de Sepetiba, também com boa cobertura espacial, apresenta as maiores concentrações na área de influência dos rios e canais já citados, nas imediações da Ilha da Madeira e Porto de Itaguaí, acima do nível 2, com amostras acima do nível 1 nas imediações e na medida em que se afasta da margem,

constituindo indicativo de influência antropogênica nas adjacências. Na maior parte da baía ocorreram valores próximos, e pouco acima, do background.

Na Baía de Ilha Grande, a distribuição espacial das amostras abarca as enseadas e sacos da Ilha Grande voltados para o continente, além de enseadas e embaiamentos próximos ao continente, na porção leste e norte. Tal qual na Baía de Paraty e Saco de Mamanguá.

A concentração de chumbo é elevada nas enseadas de Palmas, Abraão, Sítio Forte e Araçatiba, além do Saco do Céu na porção insular. Bem como na Baía de Jacuecanga, Angra dos Reis, Baía da Ribeira, na Enseada de Japuíba e Bracuí, incluindo pontos próximos a Paraty e no Saco de Mamanguá.

Nas proximidades das áreas mais contaminadas, a concentração diminui na medida em que aumenta a distância dos focos, voltando a atingir, na maior parte da área central dos canais, enseadas e baías da região, baixas concentrações próximas ao nível de base, ou background.

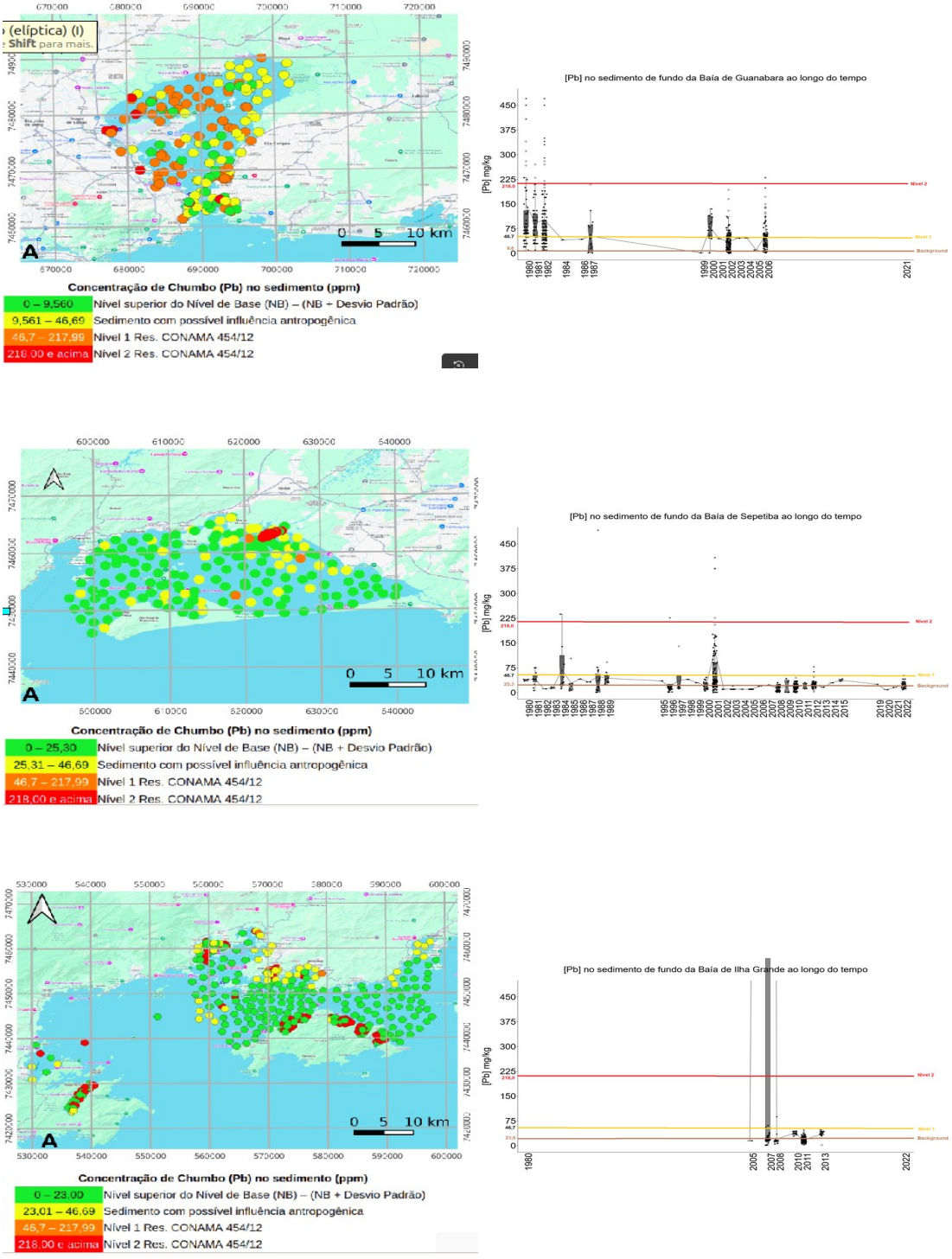


Figura 115. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **chumbo (Pb)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.

4.5.4.3. Cromo (Cr)

A avaliação da concentração de cromo (Cr) no sedimento de fundo das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande ocorreu por meio da coleta de amostras entre 1980 e 2022, com variação nos anos e número de amostras ano a ano, Quadro 80.

Quadro 80. Quantidade de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de cromo (Cr), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía.

Décadas	Baía de Guanabara	Baía de Sepetiba	Baía de Ilha Grande	Total por ano
1980	63			**63**
1990	76	23		**99**
2000	38	102	153	**293**
2010	81	213	267	**561**
2020		44		**44**
Total por baía	**258**	**382**	**420**	**1.060**

Na Baía de Guanabara, os pontos de coleta com concentrações acima do nível 2 estão localizados no seu perímetro, inclusive na porção nordeste, foz do Rio da Macacu, APA de Guapimirim. Afastando-se da barra dos rios, na porção oeste, a concentração se mantém acima do nível 1, enquanto, no centro e região Nordeste, o indicativo era de contribuição antrópica. Já no canal central e barra da Baía de Guanabara, as concentrações variavam entre o nível de base e o limite do nível 1.

Ao considerar o comportamento da concentração ao longo do tempo, apresentava-se, desde o início da década de 1980, valores acima do equivalente ao nível 1, oscilando para mais e para menos até o final dessa década, tendendo a valores inferiores ao mesmo nível. Avançando no tempo, já no final da década de 1990, os valores se aproximam do nível 1, diminuindo entre 2001 e 2005, atingindo valores menores que o background, demonstrando que o conjunto de dados pode apresentar valores incorretos.

Na Baía de Sepetiba, a concentração de cromo mostrou-se acima do nível 2 nos mesmos locais já citados, proximidades da Ilha da Madeira, valores acima do nível 1 em alguns pontos nas proximidades da restinga, na margem sul, com valores superiores ao nível de base, demonstrando contribuições antropogênicas. No restante do corpo d'água, na maior parte da região, a concentração equivalia ao

nível de base.

Ao considerar a variação da concentração entre 1980 e 2022, constata-se a oscilação ao longo do tempo, na maior parte do tempo abaixo do background e, em algumas situações, atingindo e superando a concentração do nível 1.

Na Baía de Ilha Grande, podem ser identificados alguns locais, novamente nas enseadas e sacos na área insular, Jacuecanga, proximidades de Angra dos Reis, Baía da Ribeira e Bracuí, além de alguns pontos próximos às ilhas na volta da Ilha da Gipóia. Na região ao sul dessa mesma ilha, a concentração de cromo no sedimento apresentou concentração acima do nível 1, enquanto que na maior parte do Canal Central, bem como na Baía de Paraty e Saco do Mamanguá, a concentração indica contribuição antropogênica sem atingir o nível 1, mantendo-se com valores próximos ao nível de base, tal qual a porção leste da Baía.

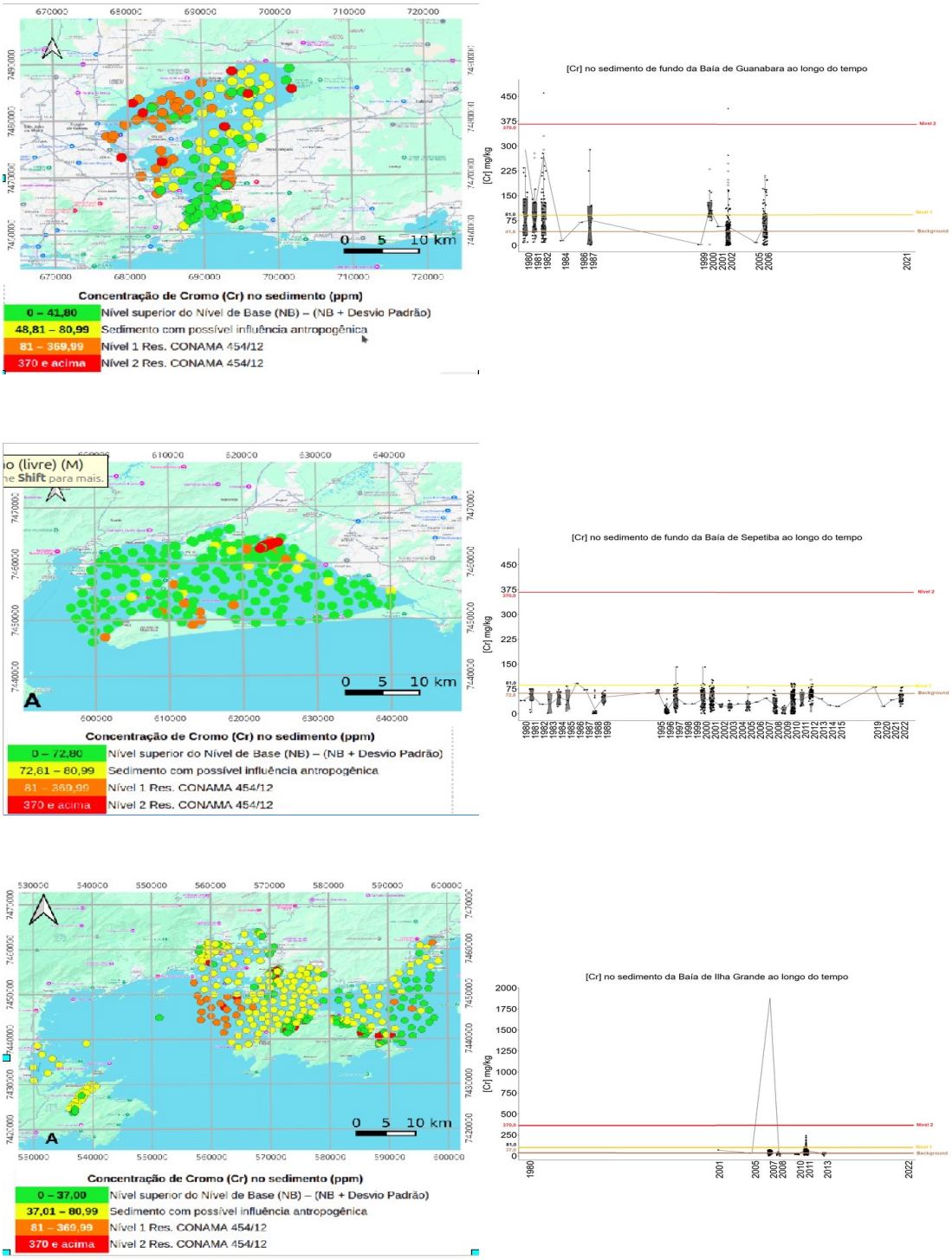


Figura 116. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **cromo (Cr)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.

4.5.4.4. Cobre (Cu)

A avaliação da concentração de cobre (Cu) no sedimento de fundo das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande ocorreu por meio da coleta de amostras entre 1980 e 2022, com variação nos anos e número de amostras ano a ano, Quadro 81.

Quadro 81. Número de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de cobre (Cu), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía.

Décadas	Baía de Guanabara	Baía de Sepetiba	Baía de Ilha Grande	Total por ano
1980	98			**98**
1990	75	19		**94**
2000	24	85	153	**262**
2010	85	212	262	**559**
2020		35		**35**
Total por baía	**282**	**351**	**415**	**1.048**

A concentração dos pontos de coleta da Baía de Guanabara é predominantemente acima do nível 1 e, em alguns locais, acima do nível 2, nas regiões Oeste, Sudoeste, Central e Leste, incluindo a Enseada de Jurujuba. Além de diversos pontos demonstrando contribuições antropogênicas intercalados com outros apresentando concentração correspondente ao background.

Com relação à variação ao longo do tempo, as concentrações partiram de valores acima do nível 1 no início da década de 1980, diminuíram até atingir valores próximos ao background em 1985, aumentaram em 1987 até atingir valores próximos ao nível 2, em 2000, diminuindo novamente até o nível 1, onde se mantiveram até 2006, quando ocorreu a última campanha de coleta.

Na Baía de Sepetiba, a concentração acima do nível 2 foi constatada nas amostras de sedimento situadas na foz dos rios e canais já citados anteriormente, além de quatro pontos situados na parte interna da restinga, onde, nas proximidades, se dá a predominância de amostras com concentração igual ou superior ao nível 1, decorrentes, possivelmente, da resultante do comportamento das correntes superficiais naquela região. Já na margem norte da baía, constatam-se amostras com pequenas contribuições antropogênicas, além da predominância de concentrações próximas ao nível de base.

Na Baía de Ilha Grande, o comportamento é semelhante ao descrito anteriormente, com contaminação acima do nível 2 nas enseadas e sacos na ilha, Jacuecanga, Baía da Ribeira, Paraty e Saco do Mamanguá, com escassas amostras com concentração acima do nível 1, predominância de pontos de coleta com concentração abaixo desse nível e alguns pontos com concentração correspondente ao background.

Ao considerar a variação temporal, constatou-se valores excessivamente altos na campanha de 2007, possivelmente com valores anômalos, além de concentrações atípicas nas coletas realizadas em 2011. E, exceto pelos eventos citados, a concentração de cobre se mantém muito próxima, ou pouco acima, do nível de base.

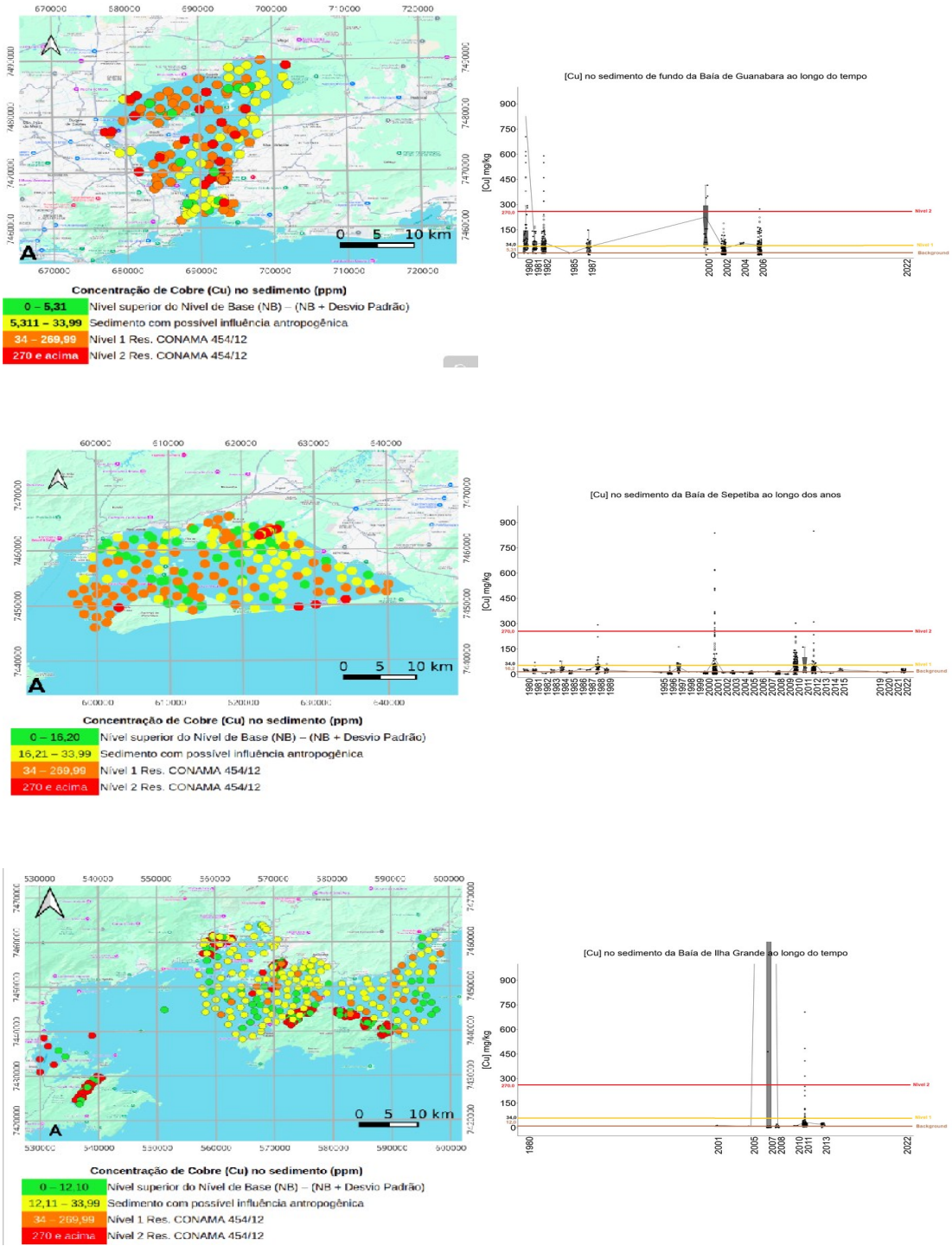


Figura 117. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **cobre (Cu)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.

4.5.4.5. Mercúrio (Hg)

A avaliação da concentração de mercúrio (Hg) no sedimento de fundo das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande ocorreu por meio da coleta de amostras entre 1980 e 2022, com variação nos anos e número de amostras ano a ano, Quadro 82.

Quadro 82. Número de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de mercúrio (Hg), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía.

Décadas	Baia de Guanabara	Baía de Sepetiba	Baía de Ilha Grande	Total por ano
1980	126			**126**
1990		33		**33**
2000		80	14	**94**
2010	68	129		**197**
2020				
Total por baía	**194**	**242**	**14**	**450**

Os pontos de coleta situados na porção oeste da Baía de Guanabara apresentam, predominantemente, concentração acima do nível 2, enquanto na porção central é superior ao nível 1, reservando, para a região nordeste, valores equivalentes ao background, tal qual em pontos isolados nas proximidades das margens dos municípios do Rio de Janeiro, São Gonçalo e de Niterói.

Quanto ao comportamento ao longo do tempo, constata-se que, no início da década de 1980, os maiores valores, com muitos deles excedendo o correspondente ao nível 2, diminuíram para valores menores que o nível 1, no meio dessa década, aumentando em seguida até atingir, em 2005, média equivalente ao nível 2, com diversas amostras excedendo esse valor.

Na Baía de Sepetiba, em decorrência do acúmulo de amostras na porção leste e oeste, e ausência na área central, foram constatados pontos com valores acima do nível 2 e 1 na foz dos corpos d'água, a leste. Além de valores variando entre o nível de base e o limite do nível 1 na região oeste, excetuando-se dois pontos na parte interna da restinga e um nas proximidades do canal, com nível 2 de contaminação.

O comportamento ao longo do tempo apresentou variação de concentrações predominantemente abaixo do nível 1 – não foi identificada a concentração crível do background, ou nível de base, de mercúrio para a Baía de Sepetiba – com valores acima desse nível em 1997, 2000 e 2001, com alguns deles excedendo o nível 2.

Na Baía de Ilha Grande, dos 14 pontos de coleta, 13 apresentaram concentração superior ao nível 2, enquanto um ponto no Saco do Céu, próximo ao local de coleta já citado, registrou valores abaixo do nível 1.

Ao considerar a variação ao longo do tempo, constata-se que os valores obtidos caracterizam-se como anômalos ao considerar as concentrações de mercúrio para as outras baías, impossibilitando, atualmente, inferências.

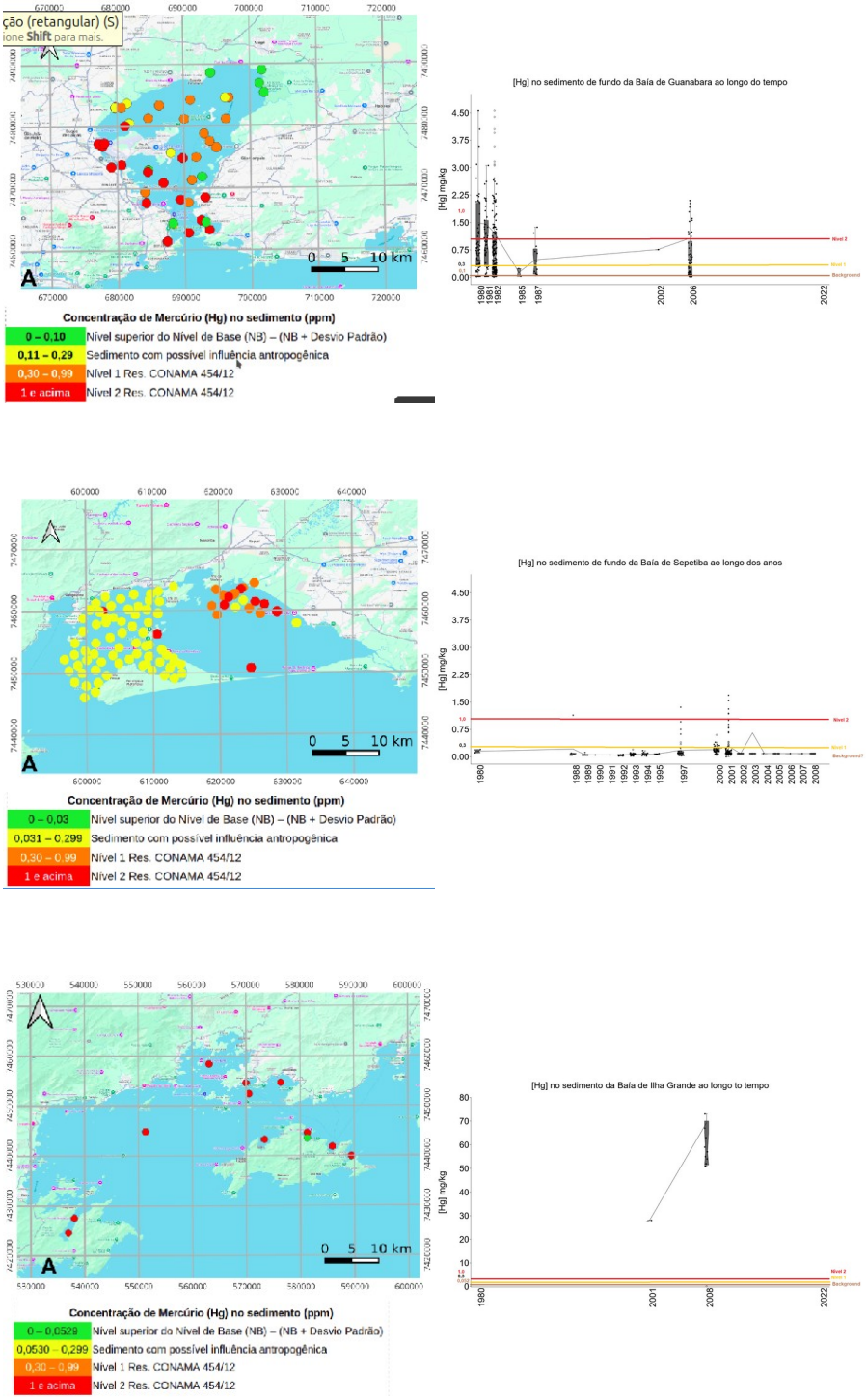


Figura 118. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **mercúrio (Hg)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.

4.5.4.6. Níquel (Ni)

A avaliação da concentração de níquel (Ni) no sedimento de fundo das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande ocorreu por meio da coleta de amostras entre 1980 e 2022, com variação nos anos e número de amostras ano a ano, Quadro 83.

Quadro 83. Número de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de níquel (Ni), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía.

Décadas	Baia de Guanabara	Baía de Sepetiba	Baía de Ilha Grande	Total por ano
1980	104			**104**
1990	73	34		**107**
2000	39	112	140	**291**
2010	83	235	267	**585**
2020		44		**44**
Total por baía	**299**	**425**	**407**	**1.131**

Na Baía de Guanabara, os pontos com concentração acima do nível 2 estão situados na foz dos rios e, entorno da Ilha do Governador e litoral de São Gonçalo e Niterói, incluindo os rios presentes na APA de Guapimirim. Os pontos com concentração acima do nível 1 localizam-se, na sua maioria, na parte central da baía. Enquanto as concentrações próximas ao background localizam-se no canal central e proximidades da barra, já na conexão com o oceano.

Ao considerar o comportamento ao longo do tempo, constata-se que apresenta grande variação ao longo das campanhas de coleta. Mantém-se parcialmente estável no início da década de 1980, entre nível 1 e nível 2, diminui para valor abaixo do background em 1984, aumenta para valores intermediários entre os níveis 1 e 2 em 1987, aumenta novamente para acima do nível 2 em 2000, e continua oscilando entre os dois níveis até 2006.

Na Baía de Sepetiba ocorreram pontos com concentração acima do nível 2 na foz dos rios já citados, próximos à Ilha da Madeira, nível 1 no perímetro da baía e valores próximos ao background nas regiões com profundidade intermediária e profundas.

Ao considerar a variação ao longo do tempo, cabe destacar que a concentração de background identificada é superior ao limite do nível 1 para aquela região. E que os valores mensurados oscilaram, na maior parte das amostras,

abaixo do nível 1, com exceções em 2000, 2010, 2016, 2020 e 2022.

Na Baía de Ilha Grande, os pontos com concentração acima do nível 2 são os mesmos já citados para as enseadas e sacos no território insular, além das baías de Jacuecanga, Angra dos Reis e Bracuí. Os pontos que apresentaram concentração acima do nível 1 estão situados na região nordeste da ilha, Canal Central, porção leste, Baía da Ribeira, Paraty e Saco do Mamanguá. Já os pontos com concentração acima e equivalente ao background estão localizados a oeste e leste do Canal Central.

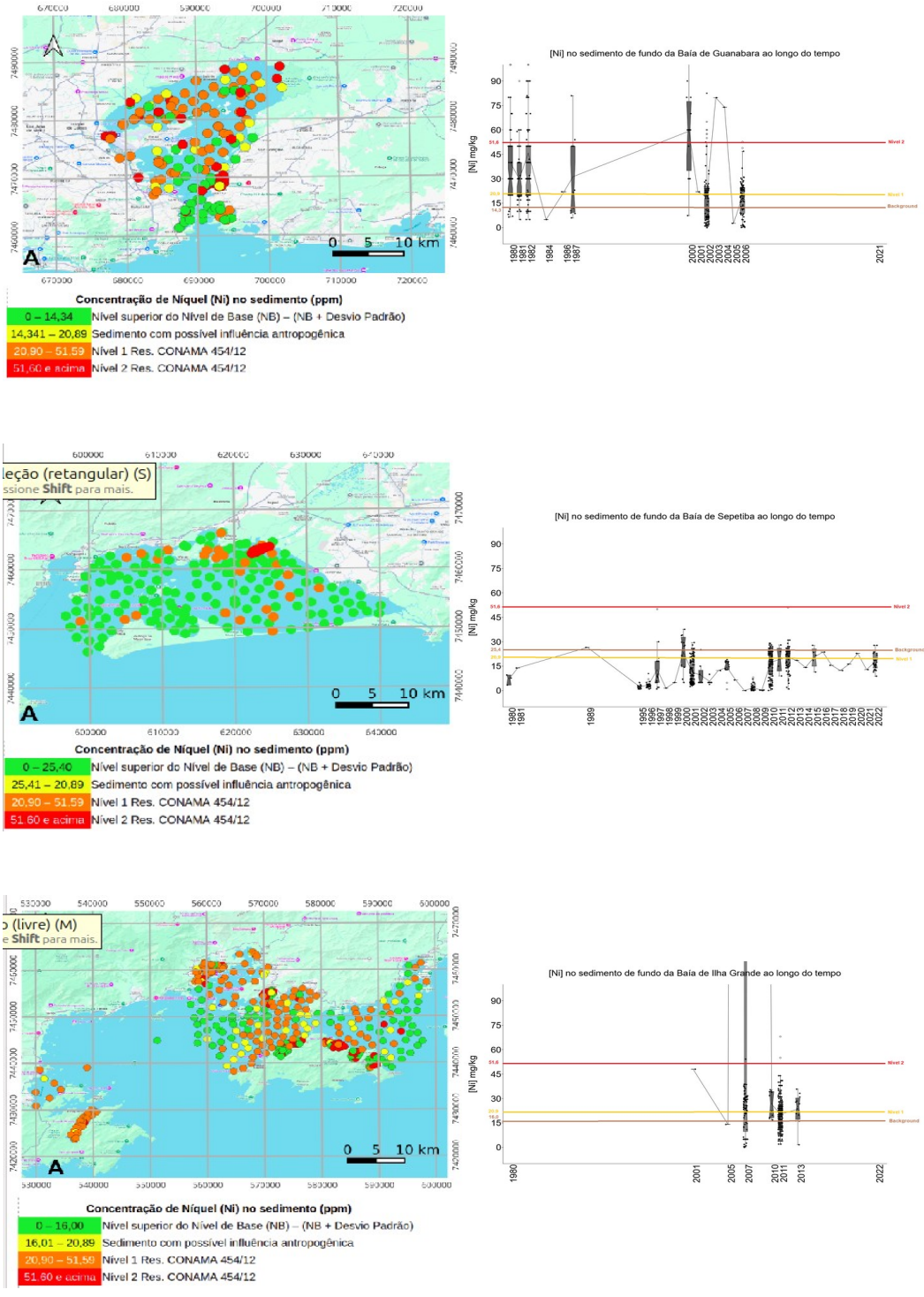


Figura 119. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **níquel (Ni)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.

4.5.4.7. Zinco (Zn)

A avaliação da concentração de zinco (Zn) no sedimento de fundo das baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande ocorreu por meio da coleta de amostras entre 1980 e 2022, com variação nos anos e número de amostras ano a ano, Quadro 84.

Quadro 84. Número de amostras de sedimento de fundo analisadas para determinação de zinco (Zn), em mg/kg, agrupadas em décadas para cada baía.

Décadas	Baia de Guanabara	Baía de Sepetiba	Baía de Ilha Grande	Total por ano
1980	127	11		**138**
1990	77	125		**202**
2000	40	140	153	**333**
2010	85	218	267	**570**
2020		44		**44**
Total por baía	**329**	**538**	**420**	**1.287**

Na Baía de Guanabara, a maior parte dos pontos de coleta, inclusive no espelho d'água, apresentou sedimento com concentração de zinco superior ao nível 2, enquanto, na porção central e margens, acima do nível 1. Os pontos com concentrações indicando pequena influência antrópica por apresentarem valores próximos ao background foram identificados nas áreas centrais e mais profundas, diferindo daqueles que apresentam contaminação.

A variação temporal indica que as concentrações médias oscilaram entre os níveis 1 e 2 ao longo da década, com muitas amostras apresentando valores acima do nível mais elevado, com exceção das coletas realizadas em 1985, quando o valor se aproximou da concentração de background.

Na Baía de Sepetiba, os pontos com concentração acima do nível 2 localizaram-se na foz dos corpos d'água anteriormente citados e na porção norte, nordeste, leste e sudeste da baía. O nível 1 predominou no setor sul, sudoeste e noroeste. Enquanto as regiões com valores sugerindo pequena influência antrópica localizam-se a oeste. Ocorreram pontos com valores próximos ao background nas proximidades das margens e, também, intercalados com locais com maior concentração.

A avaliação temporal das concentrações de zinco no sedimento de fundo apresentou grande variação ao longo do tempo, oscilando entre elevadas

concentrações, acima do que seria o nível 2, em 1980, a valores próximos ao background em 1983 e 1987 para, em 1988, elevar-se novamente acima do nível 2, onde se manteve até 2008, quando voltou a se aproximar, novamente, do background. Para, em seguida, aumentar novamente, em 2011, apresentando os maiores valores da série histórica até regredir a valores próximos ao background, em 2015, e, em 2022, atingir concentrações em torno do nível 1.

A influência do extravasamento do depósito de rejeitos da Cia. Ingá pode ser associada, a partir dos dados disponíveis e gráficos elaborados, a partir de 1997, em razão do notável aumento das concentrações de zinco constatado nos anos de 2000, 2001 e 2003. Esse aumento, contudo, foi menos significativo do que o observado em 2011, cujos valores elevados podem decorrer de resultados anômalos e, talvez, espúrios.

Na Baía de Ilha Grande, os pontos que apresentaram concentrações de zinco no sedimento acima do nível 2 foram nas enseadas e sacos na região insular, Jacuecanga, além das enseadas da Japuíba, Ariró e Bracuí, incluindo um ponto em Paraty, nas imediações das marinas, além do Saco do Mamanguá. Já concentrações acima do nível 1 foram constatadas em poucos pontos na Enseada de Bracuí, Baía de Paraty e Saco de Mamanguá, tal qual valores intermediários entre o nível de base e o nível 1, como em Conceição de Jacareí. Enquanto valores próximos ao background foram identificados na porção central da Baía de Ilha Grande.

Com relação à variação temporal da concentração de zinco no sedimento de fundo, manteve-se próximo ao nível de base entre 2001 e 2013, com exceção de 2007 e 2008, quando o valor médio excedeu o nível 2.

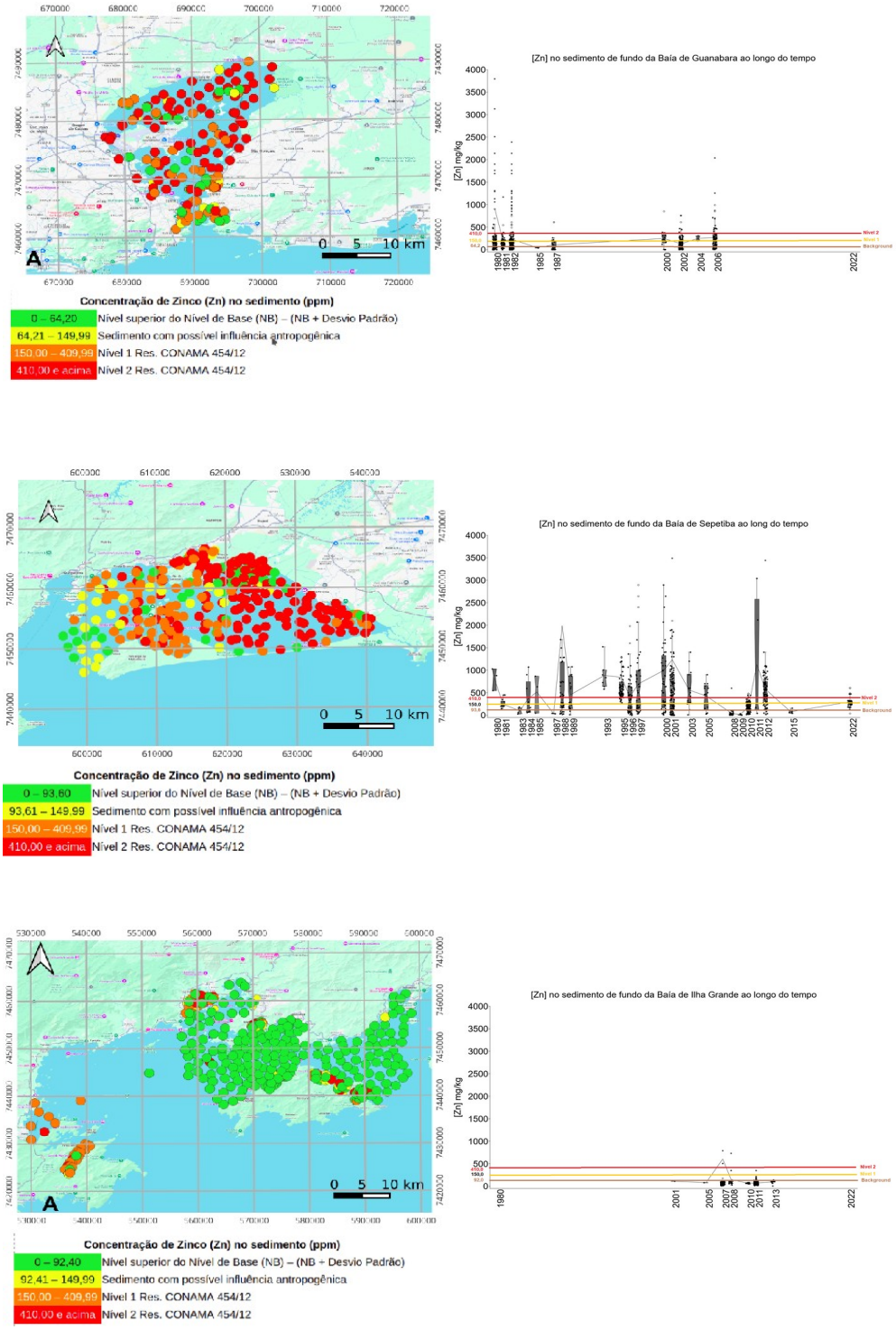


Figura 120. Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **zinco (Zn)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses, apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.

4.6. Instrumentos legais, contenção e remediação de passivos relacionados aos metais pesados no sedimento de fundo na região costeira fluminense

O presente capítulo apresenta os instrumentos de políticas públicas voltados à qualidade ambiental da região costeira, no nível federal, a partir da Política Nacional para os Recursos do Mar, instituída em 1981, e seus desdobramentos na região oceânica e costeira, com ênfase ao Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) e posterior atualização, incluindo o Projeto Orla. Abarca os recursos hídricos a partir dos antecedentes mais importantes a se materializar, em 1997, na Política Nacional para os Recursos Hídricos (PNRH), objetivos e instrumentos, com seus desdobramentos na Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) do Estado do Rio de Janeiro, Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs), Plano de Recursos Hídricos e monitoramento da qualidade das águas. No que respeita ao controle de poluentes e, especificamente, metais pesados, lista as Resoluções CONAMA, no nível federal, e suas imbricações nos instrumentos normativos do estado do Rio de Janeiro a subsidiar as medidas de avaliação para licenciamento ambiental e monitoramento ambiental das atividades licenciadas. E culmina, como lócus para integração das diferentes políticas públicas incidentes nos recursos hídricos presentes na região costeira, na Câmara Técnica Costeira (CTCost), instituída pelo CBH Baía de Guanabara, como instituto passível de possibilitar a integração de diferentes interesses e objetivos a partir das referências ditadas pela Convenção Ramsar, para as áreas úmidas, da qual o Brasil é signatário desde 1996.

4.6.1. Introdução: por que a gestão ambiental precisa desses dados

Os metais pesados, sejam de origem autogênica, independentes da ação humana, sejam por contribuição antropogênica, em decorrência das atividades humanas, poluem, contaminam e podem causar sérios problemas para a higidez dos ecossistemas terrestres, aquáticos e costeiros, a biocenose que deles dependem e seres humanos presentes nessas regiões.

Constituem uma componente de degradação ambiental que aumenta ano a ano e, para a qual, não se dispõe, até então, de medidas de controle, contenção e

atenuação, a não ser aquelas decorrentes de processos naturais regulados pelo tempo, em escala temporal que foge às referências e compreensão dos seres humanos.

Esse sério e distópico quadro, demonstrado ao longo das seções antecedentes, aponta para a necessidade de se dispor de instrumentos legais que se mostrem, minimamente, capazes de abarcar e contemplar os problemas – ecológicos, ambientais, sociais e econômicos – decorrentes da introdução de metais pesados no ambiente.

E justificam a abordagem da presente Seção, focada em políticas públicas com o intuito de contribuir para que medidas de avaliação, controle e remediação passem a ser adotadas por quem de direito, quais sejam as instituições reguladoras nas esferas federal, estaduais e municipais.

Atualmente, como será demonstrado, constitui grande, importante e gritante lacuna.

4.6.2. Políticas públicas para a manutenção da qualidade ambiental da região costeira

4.6.2.1. Antecedentes

O interesse no “uso racional da região e ecossistemas costeiros“ é resultado do avanço no conhecimento dos temas afeitos aos oceanos e região costeira, em meados da década de 1970, no Brasil, e resultado da evolução da oceanografia, oficialmente instituída, de acordo com autores dedicados aos aspectos históricos, em 1852, com a partida da corveta britânica HMS Challenger.

Com essa embarcação convertida em navio oceanográfico, inicia-se a fase moderna da oceanografia, voltando-se para a identificação das características, correntes e espécies presentes na água e fundo dos oceanos por meio de coleta de amostras em 360 diferentes pontos, ao longo de quase 70.000 milhas náuticas navegadas nos sete oceanos (Béguery, 1979).

Após seu retorno, análise das amostras e publicações dos resultados, multiplicaram-se as expedições oceanográficas a partir de novas instituições de pesquisa, contribuindo para que a oceanografia passasse a fazer parte do currículo

de diferentes formações profissionais.

Até o início da II Guerra Mundial, o desenvolvimento das pesquisas oceanográficas se deu de forma lenta e regular, motivado, principalmente, pela curiosidade científica como principal justificativa para tais estudos. E, a partir da deflagração desse conflito, o conhecimento dos oceanos experimentou grande desenvolvimento tanto em escala geográfica como no aprofundamento do entendimento das diversas áreas de atuação agrupadas no que se convencionou como oceanografia geológica, física, química e biológica (Béguery, 1979).

Nessa nova fase, razões estratégicas passaram a motivar as pesquisas oceanográficas e possibilitaram rápidos progressos no domínio da física – mais particularmente da acústica – uma vez que os estudos de propagação do som na água eram fator essencial para a segurança no deslocamento dos submarinos e navegação das embarcações na superfície (Béguery, 1979).

Tal situação teve grande impacto na oceanografia, na medida em que precisaram ser desenvolvidos e, consequentemente, refinados, diversos métodos geofísicos marinhos e oceanográficos para localização de embarcações submarinas inimigas e acidentes no fundo do mar, continuamente registrados pelos instrumentos em aprimoramento ao longo da contínua navegação.

O volume de dados coletados foi tão grande que demandou, após o final da guerra, em 1945, mais de 10 anos de trabalhos para processá-los e organizá-los. E, somente em 1957, possibilitou a apresentação da primeira versão do mapa fisiográfico do Atlântico Norte, enquanto, quase 20 anos depois, foi elaborado o primeiro mapa fisiográfico do assoalho dos oceanos na Terra (Woods Hole Oceanographic Institution, 2021).

Os anos compreendidos entre 1965 e 1979 foram caracterizados pelas explorações marinhas e geofísicas comerciais. As atividades de pesquisa migraram das áreas de plataformas continentais e costeiras, onde predominavam os depósitos marinhos de pláceres, para as áreas de águas profundas, onde começaram a ser descobertos recursos até então desconhecidos, como os nódulos de manganês.

Também nessa época começam a ser publicadas as primeiras descobertas

relacionadas aos depósitos minerais marinhos (Béguery, 1979).

A situação alterou-se drasticamente após o final da primeira crise do petróleo, no início da década de 70. Os potenciais de recursos energéticos existentes em águas abertas tiveram que ser reavaliados e, como resultado do quadro político instável em todo o mundo, as águas oceânicas territoriais e algumas áreas de águas profundas passaram a atender a essas novas considerações (Kuzendorf, 1986).

Até o início dos anos 70, não houve esforço especial no sentido de concentrar pesquisas governamentais em aspectos econômicos voltados para os recursos não-vivos nas áreas abertas dos oceanos. Os objetivos das pesquisas estavam direcionados para o conhecimento científico.

Ainda que, como informa Kuzendorf (1986), as mais importantes pesquisas oceanográficas nacionais e internacionais fossem voltadas para estudos fundamentais e básicos, restando aos recursos minerais apenas alguns poucos grupos de estudo.

Em decorrência da crise geopolítica relacionada ao petróleo, a sua produção, até então restrita às bacias sedimentares localizadas em áreas emersas e regiões rasas da plataforma continental, passou a ocorrer em águas cada vez mais profundas, *par-i-passu ao desenvolvimento de novas e melhores* tecnologias.

Alguns países desenvolvidos, operando individualmente no início e, logo a seguir, também em consórcios, puderam mobilizar estoques de recursos e de conhecimentos inacessíveis às demais nações. E passaram a promover significativo avanço na identificação das riquezas existentes, ampliando ainda mais seu distanciamento, em termos científicos, tecnológicos e econômicos, dos demais países mais pobres.

Começou a se delinear, naquela época, o cristalizar de situação profundamente injusta, ao abrigo do princípio tradicional que, em nome da liberdade, estabelecia que os mares estavam abertos à utilização por qualquer Estado.

E constatou-se que pequeno número de potências marítimas, únicas que dispunham dos meios flutuantes e tecnológicos necessários, assenhorava-se da última fronteira do planeta, as águas e os assoalhos oceânicos, como denunciou o representante do governo da República de Malta, em pronunciamento histórico, na Conferência das Nações Unidas realizada em Nova York, em 1967.

Nesse discurso, alertou para o risco de, ao se cristalizar, materializar situação permanentemente injusta para as nações pobres, que há séculos forneciam recursos para os países ricos, para o risco eminente das riquezas minerais dos fundos marinhos serem exploradas e colonizadas pelas poucas potências industrializadas detentoras de tecnologia adequada àquela exploração (Portugal, *[S.d.]*).

4.6.2.2. Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM)

Como consequência, teve início, em 1974, em decorrência da Assembleia realizada em 1967, a Conferência das Nações Unidas sobre as Leis dos Oceanos (United Nations Conference on the Law of the Seas – UNCLOS III, ou III Conferência das Nações Unidas sobre o Direito do Mar - CNUDM), com o fito de transformar as riquezas dos fundos marinhos internacionais em “herança comum da humanidade” por meio da atualização das diversas disposições instituídas pela Convenção de Genebra, de 1958. Bem como a partir da inclusão de novas propostas para abordagem dessa nova questão – as riquezas dos fundos oceânicos – que passava a ter sua exploração possibilitada em decorrência das novas tecnologias disponíveis (Portugal, *[S.d.]*).

Os trabalhos arrastaram-se durante anos, tendo sido concluídos apenas em 1982, com a aprovação dos resultados finais, graças à maioria consagradora dos representantes dos países participantes.

As negociações realizadas não se limitaram apenas a simples esforços de codificação. Foram bem mais longe ao procurar resolver problemas novos que

ultrapassavam as questões tradicionais do direito internacional marítimo. A convenção procurou resolver problemas relacionados à utilização dos recursos econômicos mundiais de uma maneira geral e, com detalhes, aos assuntos referentes à defesa; transferência de tecnologia; conservação do meio ambiente (incorporando preocupações divulgadas pela Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente realizada em Estocolmo, 1972) e ciência, dentre outros temas e novas regulamentações que se mostravam necessárias frente à complexidade dos interesses manifestados pelas nações.

A Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar – CNUDM resultou em nova fase da história da humanidade ao estreitar e fortalecer o espírito de solidariedade entre os vários Estados Costeiros, como geralmente ocorre nas negociações de natureza marítima (Portugal, *[S.d.]*).

E buscou regulamentar as diretrizes para orientar as nações quanto à melhor forma de uso dos oceanos, da superfície e subsuperfície dos fundos marinhos, definidas por meio de acordos internacionais estabelecidos sempre por meio de consenso (Portugal, *[S.d.]*).

O Brasil tornou-se signatário em 1982, ratificando-a, posteriormente, em 22/12/88. Nesse período, outros países também a ratificaram em diferentes datas.

A Convenção passou a vigorar no dia 16 de novembro de 1994 com a assinatura de ratificação pelo 120º país.

Para tanto, e para implementar as medidas preconizadas pela II CNUDM, o governo brasileiro passou a instituir uma política para o mar, até então não considerado pelas políticas públicas como resultado da ausência de “mentalidade marítima do nosso povo”, a despeito do papel destacado que o Oceano Atlântico teve na história do País (CIRM, 2000).

Com esse objetivo, foi criada, em 1974, a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – CIRM, por meio do Decreto nº 74.557, de 12/09/1974, possivelmente também animada pela legitimação durante essa década, no âmbito internacional, do mar territorial de 200 milhas para o Brasil, o que era motivo de discussão e protestos em fóruns internacionais e países lindeiros (Brasil, 1974;

Moraes, 1993).

Essa comissão teve a finalidade de “coordenar os assuntos relativos à consecução da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM)”, inexistente à época (CIRM 2000), regulamentada pelo Decreto nº 5.377, de 23/02/2005 (Brasil, 2005).

Paralelamente à elaboração da PNRM, o sistema nacional de meio ambiente também passou a ser estabelecido, demonstrando, naquele momento, a sensibilidade governamental com relação à temática ambiental. A publicação da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispôs a respeito da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), concretizou esse objetivo e demonstrou, de forma inequívoca, que a preocupação com a preservação das áreas costeiras e dos recursos marinhos havia sido, até então, pouco considerada (Brasil, 1981; Moraes, 1993).

A articulação entre essas linhas de ações governamentais representadas por dois planos de ação estatal – PNRM e PNMA – rapidamente se estabeleceu, como pôde se depreender a partir de ações realizadas posteriormente a 1981.

A PNRM passou a ser consolidada por meio de planos e programas plurianuais e anuais, elaborados pela CIRM, que se desdobraram em projetos específicos e constituíram os documentos básicos que incluíram a oceanografia e os recursos marinhos dentre as bases das Políticas Nacionais. Os projetos eram apresentados e aprovados pela CIRM e os recursos necessários, repassados pelos diversos ministérios mediante convênios, para as instituições executoras, normalmente universidades, institutos de pesquisas e organizações governamentais ligadas aos recursos do mar (CIRM, 2000).

As principais frentes estratégicas definidas pela CIRM foram agrupadas em quatro principais áreas:

- Plano para Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC);
- Plano Setorial para os Recursos do Mar (PSRM);
- Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) e
- Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC)

Os resultados para as três primeiras linhas de ação são incontestáveis.

Graças às ações conduzidas pelo LEPLAC, a Zona Econômica Exclusiva – ZEE, da ordem de 2,5 milhões de km^2, passou para 3,6 e deve atingir 4,5 milhões de km^2, representando significativa e impressionante ampliação (CIRM, s/d).

O PSRM, com o propósito de orientar e coordenar os esforços brasileiros canalizados para os recursos do mar, galgou, ao longo dos 11 Planos Setoriais para os Recursos do Mar, com duração trienal cada um deles, formar e qualificar reconhecido corpo técnico e científico, implantar meios náuticos e laboratórios, além de assegurar apoio para a abertura de diversos cursos afeitos às Ciências do Mar, dentre diversas outras iniciativas, atividades, projetos e programas efetuados (CIRM, s/d).

O PROANTAR, instituído em 1982, por sua vez, com o objetivo de promover pesquisa científica diversificada e de alta qualidade na região antártica, assegurou, até o presente, a instalação de base de pesquisas na Antártica, a construção de navio antártico e a formação e aprimoramento de significativo contingente de pesquisadores responsáveis por inserir o Brasil e seus pesquisadores em reconhecidos fóruns e eventos relacionados ao continente gelado (CIRM, s/d).

4.6.2.3. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) e Projeto Orla

O foco na interface mar, continente e atmosfera, denominada como zona costeira, esteve afeito, nos primórdios, à temática abarcada no âmbito da CIRM, paralelamente à questão dos recursos do mar, eclodindo no Programa de Sistemas Costeiros no I PSRM e, posteriormente, abarcado em diversas atividades direcionadas para essa linha estratégica de atuação (CIRM, s/d).

A ênfase conferida a essa componente da PNRM pode ser avaliada por meio da instituição do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), Lei 7.661, de 16/05/1988, com o objetivo específico de “orientar a utilização racional dos recursos na Zona Costeira, de forma a contribuir para elevar a qualidade da vida de sua população, e a proteção do seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural” (Brasil, 1988b).

Para tanto, a CIRM, por meio da Resolução 01, de 21/11/1990, aprovou o PNGC, definindo os Princípios, Conceitos e Definições, Objetivos preponderantes e específicos, Diretrizes e Ações Programadas, Instrumentos, Competências e Fontes de Recursos (CIRM, 1990a). Informações detalhadas disponíveis no Anexo 8.4.1.1. . Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), 1988, página 513.

Posteriormente, em 1997, o PNGC foi atualizado como PNGC II. E, em 2004, regulamentado pelo Decreto 5.300, de 07/12/2004, incluindo a Lei n.° 7.661/88, dispondo sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelecendo critérios de gestão da orla marítima, entre outras providências (Brasil, 2004). Informações detalhadas no mesmo Anexo 8.4. , acima.

O PNGC II define diversos significados e conceitos, além dos limites, princípios, objetivos e instrumentos, além de regras de uso e ocupação da zona costeira, limitada pela distância de 12 milhas náuticas e compreendendo a totalidade do mar territorial, além de definir os municípios abrangidos pela faixa terrestre costeira. Bem como os limites, objetivos, instrumentos, competências, regras de uso e ocupação para a gestão da orla marítima, até a profundidade de 10 metros, na porção marinha, com largura variável na área terrestre (Brasil, 2004).

O Decreto 5.300/24, já citado, amparou a definição e elaboração de método de planejamento integrado voltado à racionalização e à articulação das políticas públicas das três esferas de governo direcionadas ao planejamento dos usos da orla marítima nos municípios, por meio do Projeto Orla (Brasil, 2022).

O Projeto Orla caracteriza-se como iniciativa do governo federal, apoiado pelo Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-GERCO), da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), tendo como responsáveis pela coordenação a Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos do Ministério do Meio Ambiente (SQA/MMA) e a Secretaria do Patrimônio da União do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (SQA/MMA; MP/SPU, 2002). Mais detalhes no Anexo 8.4.1.3. Projeto Orla, página 519.

E apresenta, como objetivo primordial, a promoção e compatibilização das políticas ambiental e patrimonial do governo federal junto aos espaços litorâneos sob propriedade ou guarda da União, buscando adotar abordagem para o uso e gestão

dos terrenos e acrescidos de marinha, considerando os interesses dos entes municipais, visando consolidar orientação cooperativa e harmônica entre as ações e políticas dos três entes federados instituídos na orla marítima (SQA/MMA; SPU/MP, 2002).

E como objetivos estratégicos:

- fortalecer a capacidade de atuação e a articulação de diferentes atores do setor público e privado na gestão integrada da orla, aperfeiçoando o arcabouço normativo para o ordenamento de uso e ocupação desse espaço;
- desenvolver mecanismos institucionais de mobilização social para sua gestão integradae
- estimular atividades socioeconômicas compatíveis com o desenvolvimento sustentável da orla.

Nessa iniciativa, a classificação de cada setor litorâneo a sofrer intervenção deve considerar, também, os níveis de qualidade ambiental definidos como “estado ou condição da área em relação à influência exercida sobre a qualidade de vida presente e a desejada pela população". A condição do ambiente é avaliada (não necessariamente em números) por meio de determinadas variáveis ou componentes de maior influência em um dado momento ou situação” (SQA/MMA; SPU/MP, 2002).

Os parâmetros utilizados para expressar a situação dos setores litorâneos de interesse estão afeitos às características ambientais, sociais e econômicas.

As características ambientais, especificamente, consideram a “cobertura vegetal nativa; valores cênicos; integridade dos ecossistemas; fragilidade dos ecossistemas; presença de unidades de conservação; condição de balneabilidade; degradação ambiental; presença de efluentes (línguas negras); presença de resíduos sólidos (lixo) na orla; presença de construções irregulares; potencial para aproveitamento mineral; aptidão agrícola; potencial de extração vegetal; potencial pesqueiro; aptidão para aquicultura” (SQA/MMA; SPU/MP, 2002).

Ao considerar os três instrumentos citados – PNGC, PNGC II e Projeto Orla – incidentes na região marinha e orla costeira, a temática e preocupações afeitas à qualidade ambiental estiveram presentes nos subsídios considerados para as

respectivas estruturações.

Mas, ainda que a matriz água seja o principal definidor das características e limitações da região costeira, não é objeto de maior atenção. Sequer de consideração, a despeito da sua indissociabilidade dos ecossistemas que caracterizam esse bioma constitucional ou ecótono na transição entre o continente e o oceano.

Tal qual os metais pesados presentes no sedimento dos ambientes com uso e ocupação antropogênico intensivo.

4.6.3. Políticas públicas para manutenção da qualidade dos recursos hídricos

4.6.3.1. Antecedentes

Após o início da ocupação do território brasileiro, em 1500, e até por volta de 1930, eram escassas as preocupações com a proteção dos recursos hídricos. As normas jurídicas vigentes tinham o único objetivo de assegurar a preservação dos recursos que tinham valor econômico de interesse para a expansão ultramarina, a exemplo do pau-brasil e demais riquezas florestais e minerais (Melo; Maracajá; Dantas Neto, 2012).

A Constituição Federal de 1934, no art. 5º, inciso XIX, alínea “j”, apresenta dispositivos constitucionais destacando a importância de conferir maior atenção para os recursos, dispondo que “compete privativamente à União: [...] XIX – legislar sobre [...] j) bens do domínio federal, riquezas do subsolo, mineração, metalurgia, **águas**, energia hidrelétrica, florestas, caça e pesca e a sua exploração” (Brasil, 1934a).

E, em seguida, como resultado das discussões que já ocorriam há mais de 20 anos, foi sancionado, em 10 de julho de 1934, o Decreto n.° 24.643, denominado “Código das Águas”, instrumento legal que estabelece o regime jurídico, no Brasil, para as questões relacionadas ao uso da água (Brasil, 1934b).

Definiu, ainda, que as águas podem ser de uso comum, públicas dominicais ou particulares, e os tipos de usos a serem realizados pelos usuários. E firmava, no art. 109: “A ninguém é lícito conspurcar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízo de terceiros.”

Ainda que o objeto de atenção para as águas se limitasse à sua quantidade, sem preocupação com a qualidade, com ênfase no setor elétrico e de transporte.

As ações desenvolvimentistas deflagradas a partir da década de 1960 foram acompanhadas pelo prenúncio de preocupações com a gestão global e equilibrada da água, ainda que de maneira incipiente. Mas os interesses setoriais, com a criação do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAE), em 1968, e do Plano Nacional de Saneamento Básico, em 1971, nos quais os interesses do setor elétrico e de saneamento eram dominantes, prevaleceram (Melo; Maracajá; Dantas Neto, 2012).

Na Europa, as discussões promovidas pelo Clube de Roma, criado em 1968 e constituído por cientistas de diversos países, marcaram a primeira iniciativa internacional para a análise de questões relevantes relacionadas ao uso dos recursos naturais do planeta. A temática do encontro abarcou tópicos como os limites ambientais da Terra e o papel que os recursos naturais apresentavam para fazer frente à pobreza, a partir do uso equânime dos recursos naturais. Chamou a atenção, ainda, para a necessidade de ações urgentes e comuns para a abordagem dos temas ambientais, encontrando, de pronto, ressonância na comunidade internacional (“The Club of Rome”, 2023).

A publicação da obra “Os limites do crescimento”, em 1972, constituiu alerta quanto à necessidade de definição de critérios para utilização dos recursos naturais, incluindo a água, em um planeta onde os recursos deveriam se tornar cada vez mais escassos.

No Brasil, a década de 1970 foi um marco nas discussões a respeito das questões ambientais e do uso da água, sempre pautadas nas necessidades de grandes usuários e nos problemas relacionados às inundações e secas. O governo federal era responsável pelas decisões e as bacias hidrográficas não eram consideradas unidades territoriais de planejamento e gestão para os recursos hídricos (Carvalho et al., 2008; CETESB, s/d; Melo; Maracajá; Dantas Neto, 2012).

Posteriormente, em 1977, com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Água, ocorrida em Mar del Plata, Uruguai, foram lançadas as bases para a tomada de posição da comunidade internacional em relação à quantidade,

disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, em razão da poluição e má utilização (Report of the United Nations Water Conference, Mar del Plata, 14-25 March 1977, 1977).

No Brasil, as péssimas condições sanitárias das bacias do Alto Tietê e Cubatão, em São Paulo, estimularam a ação coordenada do Ministério das Minas e Energia (MME) e do governo de São Paulo, em 1976, para abordagem do problema. Da mesma forma, o quadro citado contribuiu para a instituição do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH), em 1978, e, posteriormente, para a criação dos Comitês Executivos nas bacias hidrográficas do Paraíba do Sul, São Francisco e Ribeira do Iguape (Couto, 2023).

A Lei 6.938, de 31/08/1981, institui a Política Nacional do Meio Ambiente e o Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA, integrado por órgãos federais, estaduais e municipais, responsáveis pela proteção ambiental. Caracterizou-se como destacada iniciativa do governo federal (Brasil, 1981).

E, posteriormente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), inaugurando iniciativas no âmbito nacional voltadas à gestão dos recursos hídricos, publica a Resolução 20, de 18/06/1986, dispondo sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional (CONAMA, 1986).

Com especial ênfase, ao longo desse processo, à Constituição Federal de 1988 por estipular, art. 20, que as águas são bens da União e de uso público, inclusive as subterrâneas, não mais existindo águas comuns ou dominicais, particulares, alterando radicalmente os preceitos dominantes até então vigentes no que se refere aos recursos hídricos (Brasil, 1988a).

4.6.3.2. Esfera Federal

4.6.3.2.1. Política Nacional dos Recursos Hídricos – PNRH

Em decorrência da evolução dos dispositivos legais afeitos aos recursos hídricos citados, é promulgada, em 08/01/1988, a Lei n.° 9.433, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), incorporando os principais marcos dos eventos citados (Brasil, 1997).

Tendo como referência o notável diferencial instituído pela Constituição Federal de 1988 ao tornar a água um bem público a ser gerido por meio de processos democráticos (Brasil, 1997).

O quadro exposto assegurou ambiente e condições propícias, além de democráticas, para a instituição de instrumentos políticos para a gestão das águas alinhados com as mais desenvolvidas estratégias adotadas por outros países.

4.6.3.3. Esfera estadual

4.6.3.3.1. Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (PERH-RJ)

No estado do Rio de Janeiro, os mecanismos para a gestão dos recursos hídricos são definidos a partir da Lei 3.239/97, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), com grande semelhança à PNRH, e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com os objetivos, segundo o art. 2°, de:

I. ...;
II. ...;
III. ...;
IV. ...;
V. **buscar a recuperação e preservação dos ecossistemas aquáticos e a conservação da biodiversidade dos mesmose**
VI. **promover a despoluição dos corpos hídricos e aquíferos, grifo nosso** (Rio de Janeiro, 1999)

O Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, de acordo com o art. 43, é constituído por:

I. Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI);
II. Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FUNDRHI);
III. Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs)
IV. Agências de Águae
V. organismos dos poderes públicos federal, estadual e municipal cujas competências se relacionem com a gestão dos recursos hídricos.

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI) tem suas competências

firmadas no art. 45 e estão afeitas, como regra geral, à articulação do planejamento das ações estaduais com foco nos recursos hídricos na escala estadual e com seus congêneres nacional, entre outras (Rio de Janeiro, 1999).

Estabelecendo que o CERHI é instituído pelo Decreto Estadual n.° 27.208, de 02/10/2000, que definiu, no art. 2°, entre outras competências, a:

I. …

II. **promover a interação, no que couber**, **entre a Política Estadual de Recursos Hídricos e as demais Políticas do Governo do Estado, em particular com a Política de Meio Ambiente e de Gerenciamento Costeiro, grifo nosso**; (Rio de Janeiro, 2000).

III. ….

Competência que se mantém nos Decretos Estaduais nº 32.862/2003, nº 41.309/2007 e nº 44.115/2013, vigorando até o presente.

4.6.3.3.2. Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH)

No que tange aos Comitês de Bacia Hidrográficas (CBH), o art. 52 da Lei 3.239/97 define que “são entidades colegiadas, com atribuições normativa, deliberativa e consultiva, reconhecidas e qualificadas por ato do Poder Executivo, mediante proposta do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI).”

4.6.3.3.3. Subcomitês de Bacias Hidrográficas

Para contribuir, quando não se assegurar que os objetivos de um CBH sejam atingidos, podem ser instituídos subcomitês para atuar com maior objetividade em sub-regiões hidrográficas específicas.

Na RH V - Baía de Guanabara, a Resolução CERHI n.° 63, de 29/06/2011, dispôs sobre a criação de seis subcomitês, abarcando as sub-regiões hidrográficas para atender aos interesses de cada um dos territórios (CERHI-RJ, 2011):

I. do Sistema Lagunar de Maricá – Guarapina;

II. do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga;

III. da Baía de Guanabara – Trecho Leste;

IV. da Baía de Guanabara – Trecho Oeste;

V. do Sistema Lagunar da Lagoa Rodrigo de Freitas;

VI. do Sistema Lagunar de Jacarepaguá.

Com a atribuição de encaminhar proposições ao Plenário do CBH-BG relacionadas ao interesse das respectivas sub-regiões hidrográficas.

A RH – II Guandu/Baía de Sepetiba, a configurar região de passagem devido à transposição de águas do Rio Paraíba do Sul por meio do sistema Guandu para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, aliada à menor dimensão e menor heterogeneidade espacial de atividades socioeconômicas, não justificou a instituição de subcomitês.

Tal qual a Região Hidrográfica RH I - Baía de Ilha Grande, que, graças à baixa densidade ocupacional e limitações impostas pelo relevo, com pequenas planícies costeiras entremeadas por grandes maciços rochosos, não possibilita a expansão urbana, ao mesmo tempo em que assegura significativas áreas com cobertura original constituída por Mata Atlântica em bom estado de preservação. As atividades ambientalmente impactantes, restritas a alguns empreendimentos industriais de grande porte, como a Eletronuclear, Estaleiro Brasfels, Terminal de Petróleo da Baía de Ilha Grande – TEBIG e Porto de Angra dos Reis, além de diversas marinas, não justificaram a instituição de subcomitês, tal qual no caso da RH II.

4.6.3.3.4. Plano de Bacia Hidrográfica ou Plano de Recursos Hídricos

Um dos mais importantes instrumentos para a caracterização, avaliação e gestão das águas e territórios associados refere-se ao Plano de Bacia Hidrográfica (PBHs), ou Plano de Recursos Hídricos, um dos instrumentos preconizados na Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/97, e Política Estadual de Recursos Hídricos, Lei 3.239/99, com o conteúdo mínimo definido pela Resolução CNRH n.° 145, de 12/12/2012 (CBH-BG, *[S.d.]*).

O plano acima referido busca fundamentar e contribuir, no âmbito dos seus objetivos, para as diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos, a servir de base para a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI), como definido pelo art. 12 (Rio de Janeiro, 1999).

4.6.3.3.5. Regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro

Visando atender recomendações do primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI) identificou necessidade de correção e ajustes das regiões hidrográficas definidas pela Resolução CERHI n.º 18, de 08/11/2006, para otimizar a gestão das águas no território fluminense e readequar as áreas de abrangência dos comitês de bacias hidrográficas.

Para tal fim, divide o território do Estado do Rio de Janeiro em nove regiões hidrográficas, dentre as quais, como objeto do presente estudo, distinguem-se:

I - RH I: Região Hidrográfica Baía da Ilha Grande;

II - RH II: Região Hidrográfica Guandue

V - RH V: Região Hidrográfica Baía de Guanabara (CERHI-RJ, 2013).

4.6.3.3.6. Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP)

No desenvolvimento do Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERHI, identificou-se a necessidade de correções e ajustes nas regiões hidrográficas, buscando otimizar a gestão das águas no território fluminense e readequar a área de abrangência dos atuais comitês de bacias hidrográficas.

As alterações fizeram-se necessárias, tendo em vista as bases cartográficas disponíveis e a divisão municipal do estado do Rio de Janeiro. As mudanças propostas foram ratificadas pela Resolução CERHI-RJ Nº 107, de 22 de maio de 2013 (CERHI-RJ, 2013).

Adicionalmente, foram definidas as Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHP) como subdivisões das Regiões Hidrográficas a partir das disponibilidades, demandas e balanço hídrico para subsidiar o planejamento do uso dos recursos hídricos regionais (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014c).

Uma UHP é a maior escala de planejamento no PERHI para análise de disponibilidade e demandas de recursos hídricos. Escalas mais detalhadas, quando necessárias, podem ser adotadas em estudos específicos e nos planos de bacias hidrográficas.

Para a divisão e definição dos limites de cada UHP, foram utilizados os seguintes critérios:

- uma UHP engloba um rio principal ou trecho desse rio, ou ainda, parcela da área do rio principal no trecho fluminense da bacia;
- em situações com características hidrológicas distintas, as áreas foram subdivididas em mais de uma UHP;
- em regiões onde não há um curso d'água principal, as bacias contíguas foram reunidas em uma única UHP;
- na existência de interferências no curso d'água, tais como transposições, definiu-se a área a montante da interferência como uma UHP (CERHI-RJ, 2013; Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014d, 2014e).

4.6.3.3.7. Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais

O monitoramento de qualidade das águas considera, como referência, a Resolução CONAMA n.º 357/2005, que define as condições e padrões de qualidade das águas para fins de classificação e enquadramento dos corpos d'água em Classes de Uso.

O monitoramento da qualidade das águas, portanto, é um dos mais importantes instrumentos para a avaliação do estado e comportamento da variação dos parâmetros responsáveis pela qualidade da água ao considerar critérios qualitativos.

Tem papel destacado no licenciamento ambiental e aplicação de instrumentos de gestão de recursos hídricos, como outorga, cobrança e enquadramento.

Adicionalmente, a qualidade da água é utilizada como balizador quanto à necessidade de investimentos em sistemas de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes gerados por atividades econômicas em geral (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014f).

O monitoramento, como regra, abarca a mensuração de parâmetros bacteriológicos, físico-químicos e biológicos, além da realização de bioensaios.

Os parâmetros avaliados no estado do Rio de Janeiro pelo Inea estão afeitos a: oxigênio dissolvido (OD); condutividade; pH; cloretos; cianetos; temperatura; fósforo total (PT); nitrogênio amoniacal (NH4+); nitrogênio Kjeldahl (NK); nitrato (NO^{3-}); nitrito; ortofosfato (PO4-3); demanda bioquímica de oxigênio (DBO); demanda química de oxigênio (DQO); coliformes termotolerantes; metais pesados e cianobactérias (qualitativo e quantitativo).

Alguns parâmetros, registrados em campo, referem-se à cor da água; presença de óleo; presença de lixo; condições climáticas; ocorrência de chuvas nas últimas 24 horas; profundidade da coleta; profundidade da coluna d'água; temperatura do ar; temperatura da água; transparência do disco de Secchi; pH; condutividade; turbidez; salinidade. (Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2014f)

Importante destacar que não foram identificadas em bibliografia científica ou técnica referências acerca do método, periodicidade e constância de monitoramento de qualidade das águas superficiais.

4.6.4. Instrumentos reguladores de atividades antropogênicas introdutoras de metais pesados na região costeira do Rio de Janeiro

4.6.4.1. Esfera Federal

No contexto legal e normativo explanado nas seções anteriores, não há abordagem, foco e objetivo pré-definido, por se tratarem de instrumentos genéricos, na introdução, presença e concentração de metais pesados no ambiente e, particularmente, no sedimento de corpos d'água doces, salobros e salinos em regiões costeiras.

O tema metais pesados será considerado, principalmente, em instrumentos normativos federais e, especificamente, nas Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). No caso do estado do Rio de Janeiro, pelas Normas Operacionais, nas quais as questões afeitas a esses poluentes estão endereçadas.

Com o objetivo de facilitar a identificação e organização das Resoluções CONAMA relacionadas às águas, poluentes, metais pesados e sedimento em regiões costeiras brasileiras, o Quadro 85 apresenta as principais características

daquelas relacionadas à temática, descritas com mais detalhes no Apêndice 8.4. Subseção 8.4.3. Instrumentos reguladores de atividades antropogênicas com potencial de introduzir metais pesados na região costeira do Rio de Janeiro, página 533.

Quadro 85. Resoluções CONAMA: número, data e finalidade daquelas relacionadas às águas e, principalmente, contaminação por metais pesados.

Resolução CONAMA n.°	Data	Atribuição/foco
20	18/06/1986	Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional
274	29/11/2000	Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras.
344	07/05/2004	Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências.
357	17/03/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
396	03/04/2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
420	28/12/2009	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.
421	04/02/2010	Dispõe sobre revisão e atualização da Resolução CONAMA n. ° 344, de 25 de março de 2004.
430	13/05/2011	Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.
454	01/12/2012	Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.
460	30/12/2016	Altera a Resolução CONAMA n.° 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências.

Dentre as Resoluções listadas, merece destaque a 454/2012 por estar focada na avaliação de sedimento contaminado com poluentes e, dentre eles, metais pesados, para fins de dragagem e disposição em águas jurisdicionais nacionais.

Essa Resolução CONAMA revoga as Res. CONAMA n.° 344 de 2004 e n.° 421 de 2010, estabelecendo as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas doces, salobras e salinas sob jurisdição nacional (CONAMA, 2012).

Para tanto, o art. 1° estabelece os critérios que devem ser observados para fins de implantação, aprofundamento, manutenção ou ampliação de canais hidroviários, da infraestrutura aquaviária dos portos, terminais e outras instalações portuárias, públicos e privados, civis e militares, bem como das dragagens para outros fins, mas não para dragagens para fins de mineração (CONAMA, 2012).

Já o art. 10 desse instrumento determina que a caracterização química do material a ser dragado fundamentará sua classificação para fins de avaliação das condições e alternativas para sua disposição:

I. em solo, quando os resultados da caracterização química devem ser comparados com os valores orientadores nacionais estabelecidos para solos pela Resolução CONAMA n.° 420/2009 ou norma estadual vigente;
II. em águas sob jurisdição nacional, observando que os resultados da caracterização química devem ser comparados com os valores orientadores previstos na Tabela III do Anexo desta Resolução e classificados em dois níveis:
    a) Nível 1 - limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota; e
    b) Nível 2 – limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

O Quadro 86, sintetizado a partir da Tabela III – Níveis de Classificação do Material a ser Dragado da Resolução CONAMA n.° 454/12, apresenta os limites determinados para os metais e semimetais de interesse para o presente estudo.

Estabelece, adicionalmente, no art. 14, que a classificação do sedimento

será subsidiada por avaliação ecotoxicológica a ser realizada, quando couber, em complementação à caracterização química de amostras de sedimento integral, com a finalidade de avaliar os impactos potenciais à vida aquática no local proposto para a disposição do material dragado, em águas sob jurisdição nacional, preferencialmente, mediante a utilização de organismos do grupo dos anfípodes, tendo em conta:

I. Efeito tóxico não significativo, quando menor ou igual a 50% do efeito tóxico medido;
II. Efeito tóxico significativo, quando maior que 50% do efeito tóxico medido, de acordo com a Resolução CONAMA n.° 344/2004.

Quadro 86: Níveis de classificação da qualidade de sedimento em águas doces, salobras e salinas a partir da concentração de metais pesados no sedimento. Fonte: adaptado de CONAMA (2012).

Substâncias		**Níveis de classificação do material a ser dragado (em mg/kg de material seco)**			
		Água Doce		**Água Salina / Salobra**	
		Nível 1	**Nível 2**	**Nível 1**	**Nível 2**
Metais e Semimetais (mg/kg)	Arsênio (As)	5,9[1]	17[1]	19[4]	70[2]
	Cadmio (Cd)	0,6[1]	3,5[1]	1,2[2]	7,2[4]
	Chumbo (Pb)	35[1]	91,3[1]	46,7[2]	218[2]
	Cobre (Cu)	35,7[1]	197[1]	34[2]	270[2]
	Cromo (Cr)	37,3[1]	90[1]	81[2]	370[2]
	Mercúrio (Hg)	0,17[1]	0,486[1]	0,3[4]	1,0[5]
	Níquel (Ni)	18[1]	35,9[1]	20,9[2]	51,6[2]
	Zinco (Zn)	123[1]	315[1]	150[2]	410[2]

Observação:
Os valores orientadores adotados na Tabela III têm como referência as seguintes publicações oficiais canadenses, norte-americanas e europeias:

1. Environmental Canada. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines Summary Tables. http://www.ec.gc.ca, atualizado em 2002.
2. Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. & Calder, F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management 19 (1): 81-97.

3. FDEP (1994). Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters. Vol. I. Development and Evaluation of Sediment Quality Assessment Guidelines. Prepared for the Florida Department of Enviromental Protection (FDEP), Office of Water Policy, Tallahassee, FL, by MacDonald Environmental Sciences Ltd., Ladysmith, British Columbia. 1994.
4. Environmental Canada and Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation. http://www.planstlaurent.qc.ca, atualizado em 2008.
5. HPA - Hamburg Port Authority, 2011: Assessment Criteria for Dredged Material with Special Focus on the North Sea Region. http://www.sednet.org.

4.6.4.2. Esfera estadual

Na esfera estadual, a despeito das Resoluções CONAMA citadas, o tema metal pesado parece não despertar maior interesse do órgão licenciador e responsável pelo monitoramento e qualidade ambiental da região costeira pelos motivos a seguir listados:

1. diversas atividades reconhecidamente introdutoras de metais pesados no meio são consideradas no processo de licenciamento ambiental e, especificamente, no Programa Estadual de Autocontrole de Efluentes Líquidos – Procon Água, como demonstra o Quadro 88;
2. nenhuma das diversas atividades geradoras de metais pesados realizadas na água é abarcada no processo de licenciamento e monitoramento dos seus impactos relacionados à introdução de metais pesados e
3. a adoção da Resolução CONAMA 454/2012 como referência, voltada à avaliação da qualidade do sedimento para fins de dragagem e disposição em águas sob jurisdição nacional, não possibilita avaliar a extensão territorial e magnitude da contaminação de sedimento por metais pesados nas coleções hídricas das três baías estudadas, contribuindo para que esse sério passivo ambiental se mantenha desconhecido e continue a poluir e contaminar os ambientes associados, principalmente a jusante dos corpos d'água.

4.6.4.2.1. Licenciamento ambiental de atividades econômicas no Estado do Rio de Janeiro

A regularização ambiental das atividades econômicas no Estado do Rio de Janeiro deve atender às diretivas determinadas pelo Sistema Estadual de Licenciamento Ambiental (SELCA), na seção Licenciamento Ambiental, Pós-Licença e Fiscalização – https://www.inea.rj.gov.br/licenambiental/.

Instituído pelo Decreto Estadual 46.890/2019, “dispõe sobre o Sistema de Licenciamento e demais procedimentos de controle ambiental – SELCA, e dá outras providências”, define os instrumentos de controle ambiental, na Seção II, endossa a presunção de boa-fé e responsabilidade dos empreendedores e responsáveis técnicos nos processos de licenciamento, na Seção III do Capítulo I. Além de estipular, no Capítulo II, que o controle ambiental será baseado em desempenho, estratégia, riscos e impactos (Rio de Janeiro, 2019).

No que tange à Classificação do Impacto Ambiental, Seção II, art. 20, registra que os empreendimentos e atividades serão enquadrados em classes de acordo com o porte (mínimo, pequeno, médio, grande ou excepcional) e potencial poluidor (desprezível, baixo, médio, alto ou significativo), a determinar a magnitude do impacto ambiental, variando de desprezível, baixo, médio, alto a significativo (Rio de Janeiro, 2019).

Define, ainda, que os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais considerados efetiva ou potencialmente poluidores, Quadro 87, estão sujeitos ao licenciamento ambiental (Rio de Janeiro, 2019).

No que tange aos níveis de poluentes, incluindo metais pesados, a serem observados nos efluentes industriais das atividades listadas no Quadro 87, a Norma Operacional 48 (NOP-Inea-48), aprovada pela Resolução CONEMA 93 de 01/10/21, intitulada “Programa Estadual de Autocontrole de Efluentes Líquidos – Procon Água”, objetiva “estabelecer procedimentos e critérios a partir dos quais os responsáveis pelas atividades poluidoras informam regularmente ao gestor do Procon Água, o Instituto Estadual do Ambiente - Inea, por intermédio do Relatório de Acompanhamento de Efluentes Líquidos RAE, as características qualiquantitativas de seus efluentes líquidos, como parte integrante do Sistema de Licenciamento

Ambiental", de acordo com Inea (2021).

Quadro 87. Atividades sujeitas ao licenciamento ambiental no estado do Rio de Janeiro, de acordo com o Decreto Estadual 46.890/21. Fonte: Rio de Janeiro (2019).

Grupo	Atividade sujeita ao licenciamento ambiental	Grupo	Atividade sujeita ao licenciamento ambiental
I	Extração de minerais	XVII	Produtos de matérias plásticas
II	Agricultura e extração de vegetais e silvicultura	XVIII	Têxtil
III	Pecuária e criação de outros animais	XIX	Vestuário, calçado e artefatos de tecidos
IV	Produtos de minerais não metálicos	XX	Produtos alimentares
V	Siderúrgica e metalúrgica	XXI	Bebidas
VI	Mecânica	XXII	Fumo
VII	Material elétrico e de comunicação	XXIII	Editorial e gráfica
VIII	Material de transporte	XXIV	Diversos
IX	Madeira	XXV	Unidades auxiliares de apio industrial e serviços de natureza industrial
X	Mobiliário	XXVI	Construção civil
XI	Papel e Papelão	XXVII	Álcool e açúcar
XII	Borracha	XXVIII	Saneamento e serviços de utilidade pública
XIII	Couros, peles e produtos similares	XXIX	Transporte
XIV	Química	XXX	Serviços auxiliares diversos
XV	Produtos farmacêuticos e veterinários	XXXI	Petróleo, gás e álcool carburante
XVI	Perfumaria, sabões e velas		

Já as atividades industriais e de serviços realizadas na área emersa, responsáveis por introduzir poluentes no meio e, dentre eles, metais pesados, são previstas no Anexo 3 da referida NOP-Inea-48 (Inea, 2021a) e apresentadas no Quadro 88.

Quadro 88. Atividades industriais e de serviços previstas no PROCON Água geradoras de metais pesados. Fonte: adaptado de Inea (2021).

Atividade industrial e de serviço	Parâmetro Metais Pesados
Abate de animais e preparação de conservas de carne, inclusive subprodutos	**a ser mensurado e informado**
Atividades que armazenam ou manipulam produtos inflamáveis e combustíveis (vide obs)	
Centrais terceirizadas de tratamento de efluentes industriais	**a ser mensurado e informado**
Central de tratamento de resíduos	**a ser mensurado e informado**
Curtume e processamento de couros e peles	**a ser mensurado e informado**
Estação de tratamento de água	**a ser mensurado e informado**
Extração de minérios e minerais	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de adubos, fertilizantes e corretivos do solo	
Fabricação de bebidas	**Isento**
Fabricação de borrachas sintéticas	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de cimento e clínquer e co-processamento de resíduos	
Fabricação de cloro	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de concentrados aromáticos naturais, artificiais e sintéticos	**Isento**
Fabricação de conservas do pescado	**Isento**
Fabricação de orantes e pigmentos	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de cosméticos	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de detergentes e produtos de limpeza	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de fios e fibras sintéticas	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de germicidas, inseticidas e fungicidas	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de óleos e graxas lubrificantes	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de pólvoras, explosivos, detonantes; fósforos de segurança e artigos pirotécnicos	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas, impermeabilizantes, secantes e resinas/massas plásticas	
Gráfica	**a ser mensurado e informado**
Indústria farmacêutica	
Indústria metalúrgica	**a ser mensurado e informado**
Indústria têxtil	**a ser mensurado e informado**
Indústria alimentícia	**Isento**
Indústria de defensivos agrícolas	
Indústria siderúrgica	**a ser mensurado e informado**
Lavanderia	**Isento**
Lixiviado de aterro sanitário	**a ser mensurado e informado**
Papel e celulose	**Isento**
Percolado de aterro industrial	**a ser mensurado e informado**
Preparação de laticínios	**Isento**
Refinaria de petróleo	**a ser mensurado e informado**
Unidade de recuperação de baterias em geral	**a ser mensurado e informado**

Observação: as células com fundo laranja referem-se às atividades que, de acordo com as referências consultadas, são fontes de metais pesados no meio a partir dos respectivos processos produtivos, resíduos, efluentes e emissões geradas, não consideradas na NOP-Inea-48.

4.6.5. Câmara Técnica Costeira como locus de integração dos recursos hídricos e gestão costeira

A partir das referências dispostas no Art. 1° da Resolução 148/12 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), aprova-se o “detalhamento operativo do Programa IX - Gestão de Recursos Hídricos Integrada do Gerenciamento Costeiro, incluindo as Áreas Úmidas do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) – que trata da integração da Gestão de Recursos Hídricos com o Gerenciamento Costeiro, incluindo as Áreas Úmidas”.

Que, graças às peculiaridades territoriais e ambientais responsáveis pela definição de outro recorte geográfico, não necessariamente coincidente com os limites de uma bacia hidrográfica, demandam programas específicos para fazer frente a essas denominadas “situações especiais de planejamento” (CBH-BG, 2022; CNRH, 2012)

A iniciativa para integração das bacias hidrográficas com a região costeira remonta à constatação da necessidade de sua articulação pelos atores do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), culminando, em 2005, com a criação da Câmara Técnica de Integração da Gestão das Bacias Hidrográficas e dos Sistemas Estuarinos e Zona Costeira (CTCOST), no âmbito do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

As especificidades dos sistemas estuarinos e da zona costeira, assim como as Áreas Úmidas em geral, constituem o principal foco de ação da Convenção Ramsar, da qual o Brasil é signatário desde 1996.

Seja pela relevância das Áreas Úmidas para a manutenção dos ciclos hidrológicos e dos ecossistemas costeiros, como também pelo papel desempenhado na manutenção da quantidade e qualidade da água, além da importância que desempenham para os organismos dependentes dessa região, principalmente quando utilizados pela população, muitas vezes há décadas ou séculos (CNRH, 2012).

A missão da Convenção de Ramsar é contribuir para “a conservação e uso racional por meio de ação local, regional, nacional e de cooperação internacional, visando alcançar o desenvolvimento sustentável das zonas úmidas de todo o mundo".

Para tal fim, as áreas caracterizadas como ecossistemas úmidos importantes por um país são submetidas ao corpo técnico especializado da Convenção para análise. Após serem avaliadas e aceitas, recebem o título de “Sítio Ramsar”, tornando-se objeto de compromissos a serem cumpridos pelo país contratante e, ao mesmo tempo, merecedoras de benefícios decorrentes dessa condição.

Nesse quadro, a Gestão das Áreas Úmidas deve considerar as diretrizes estabelecidas na Convenção Ramsar, especificadas em suas Resoluções. Principalmente tendo em conta os quadros críticos e potencialmente críticos de degradação ambiental, notadamente nas áreas urbanas com alta densidade de ocupação, como nas regiões metropolitanas, a exigir ações de caráter corretivo, de mediação de múltiplos conflitos de usos dos espaços e recursos naturais, além do controle de impactos oriundos de atividades baseadas no continente que chegam às águas e ecossistemas paludais, costeiros e marinhos (CNRH, 2012).

Área Úmida, de acordo com a Convenção, e, no caso da CTCost especificamente, podem ser:

- costeiras - “toda extensão de pântanos, charcos e turfas, ou superfícies cobertas de água, em regime natural ou artificial, permanentes ou temporárias, contendo água parada ou corrente, doce, salobra ou salgada” e
- marinhas - “áreas úmidas com profundidade de até seis metros em situação de maré baixa de sizígia”.

Esses ambientes, graças a tais características, asseguram serviços ecossistêmicos fundamentais para a flora, fauna e bem-estar das populações humanas, regulam o regime hídrico de vastas regiões, operam como fonte/abrigo de biodiversidade em todos os níveis, atendem necessidades de água e alimentação para ampla variedade de espécies, inclusive para comunidades rurais e urbanas. Exercem, portanto, relevante papel de caráter ecológico, econômico, social, cultural e recreativo.

Devem, ademais, ser consideradas como social e economicamente insubstituíveis por conter inundações, recarregar aquíferos, reter nutrientes, purificar a água e estabilizar regiões costeiras, dentre outros, adicionalmente aos benefícios já citados (CNRH, 2012).

E, ainda, apresentar vital papel no processo de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, ao cumprirem o papel de importantes reservatórios de carbono.

Em um quadro francamente desfavorável ao considerar a realidade, a inexistência de instrumentos legais e a ineficácia das normativas existentes, é

importante destacar. Nesse contexto, a salvaguarda e manutenção das características originais de ecossistemas costeiros são prioritárias.

Inclusive para fazer frente aos diferentes e intensos tipos de pressões antrópicas, como:

- baixo índice de cobertura de saneamento (água, esgoto, drenagem urbana, coleta de resíduos sólidos);
- pressão urbana: urbanização não planejada, crescimento demográfico descontrolado, pressão imobiliária como indutora de políticas públicas;
- poluição das águas costeiras;
- explotação e exploração de recursos marinhos: peixes, crustáceos, moluscos e algas marinhas;
- atividade turística e população flutuante;
- Implantação e ampliação de portos, retroáreas e parques industriais;
- exploração de recursos energéticos renováveis e não renováveise
- exclusão, desrespeito e precarização das condições e perspectivas de vida das populações e atividades tradicionais, para citar apenas alguns dos mais significativos.

Nesse sério e complexo quadro, o foco da gestão dos recursos hídricos deve assegurar os usos múltiplos da água, sua qualidade e quantidade.

No que tange à gestão costeira, o foco é na conservação e usos sustentáveis dos ecossistemas costeiros e seus componentes, a partir da manutenção da diversidade e produtividade biológica nas áreas terrestres, ambientes estuarinos e região marinha costeira.

A Gestão de Áreas Úmidas, por sua vez, é complementar na medida em que procura orientar e subsidiar as ações, abarcando ambos os enfoques citados:

- conservação dessas áreas, por um lado, e
- uso racional de seus recursos em perspectiva de médio e longo prazo, no lugar de, como comumente ocorre, apenas em momentos episódicos, considerando, ao mesmo tempo, sua importância para o desenvolvimento socioeconômico da população e região (CNRH, 2012).

A gestão do ambiente costeiro, portanto, deve contemplar ambas as abordagens citadas e abarcar, fundamentalmente, a qualidade da água, a integridade das funções ecológicas dos ecossistemas, o uso sustentável dos recursos, incluindo o ordenamento e a gestão territorial para fins de compatibilizar instrumentos da PNRH e PNGC com vistas à otimização dos recursos técnicos e financeiros, ao mesmo tempo em que estimula ações sinérgicas decorrentes da interação e integração de políticas públicas.

Para assegurar a eficácia e efetividade dessas ações, há que se definir requisitos que possibilitem o compartilhamento de responsabilidades e a otimização de recursos entre os entes de ambos os sistemas. Bem como evitar a apropriação indevida das competências de um sistema pelo outro, assegurando, a cada um, a autonomia e independência necessárias para a definição das respectivas estratégias gerais de abordagem e ação.

Para tanto, a definição do espaço territorial para integração desses objetivos deve ser considerada logo de partida a partir das diretrizes políticas e características fisiográficas locais. (CNRH, 2012).

Ao considerar a gestão integrada dos Recursos Hídricos e Zona Costeira, é importante atentar, principalmente, para as referências técnicas firmadas pelas Resoluções da Convenção Ramsar a seguir listadas:

- Resolução VIII.4: Princípios e delineamentos para incorporar questões relativas às zonas úmidas e ao manejo integrado das Zonas Costeiras - MIZC, Ramsar (2002a);
- Resolução VIII.32: Conservação, manejo integral e uso sustentável dos ecossistemas de manguezais e seus recursos (Ramsar, 2002b);
- Resolução IX.4: A Convenção de Ramsar e a conservação, produção e uso sustentável dos recursos pesqueiros, considerando peixes, crustáceos, moluscos e algas (Ramsar, 2005);
- Resolução X.24: Mudanças Climáticas e as Zonas Úmidas (Ramsar, 2008).

Essas referências e as ações previstas subsidiaram e orientaram a fundamentação do Programa IX, constituído por um conjunto de atividades

agrupadas em quatro subprogramas (CNRH, 2012):

- Subprograma 1 – Quadro Institucional e Legal;
- Subprograma 2 - Instrumentos de Gestão;
- Subprograma 3 – Base Territorial para a Gestão Integradae
- Subprograma 4 – Educação Ambiental, Capacitação, Comunicação e Mobilização.

Cada um deles imbricadamente relacionado às Câmaras Técnicas já instituídas e operantes do CBH-BG:

- Câmara Técnica Institucional e Legal – CTIL;
- Câmara Técnica de Instrumentos de Gestão – CTIG;
- Câmara Técnica de Educação Ambiental e Mobilização – CTEM;
- Câmara Técnica de Saneamento Ambiental – CTSAM;
- Câmara Técnica Infraestrutura Verde – CTIV e
- Câmara Técnica de Análise de Projetos – CTAP.

Importante ressaltar que, ao longo das atividades desenvolvidas pelo CBH-BG desde sua instituição, em 2005, as águas salobras e salinas, matriz fundamental para a existência e desenvolvimento dos mais importantes ecossistemas costeiros e marinhos da região, não foram objeto de interesse e atuação (Harkot, 2022).

Quadro alterado em 2022 com a criação da Câmara Técnica Costeira – CTCost, voltada para contribuir com a integração dos esforços, ao considerar os objetivos do Subprograma IX, para inserção dos ambientes costeiros e marinhos no âmbito das atividades do sistema de gerenciamento de recursos hídricos, de maneira geral, e no CBH-BG, em termos específicos.

5. DISCUSSÃO

No cenário da oceanografia brasileira, a região costeira do estado do Rio de Janeiro destaca-se pelo pioneirismo das iniciativas e consolidação de instituições e pesquisadores que se tornaram referências na área.

Os resultados dos primeiros estudos direcionados à caracterização oceanográfica e das massas d'água presentes na plataforma continental do Estado do Rio de Janeiro e áreas adjacentes, com foco na região entre Cabo Frio e Baía de Guanabara, remontam ao final da década de 1950 (Niencheski et al., 2004).

Coletas de amostras para determinação de parâmetros físicos e químicos da água buscando identificar as massas d'água, bem como entender o comportamento das correntes, foram inicialmente conduzidas por Ingvar Emílsson, em 1956, e Paulo Moreira da Silva, em 1957, resultando em publicações seminais utilizadas até nossos dias atuais (Niencheski et al., 2004).

Ao esforço inicial seguiram-se outros, concretizados por meio de campanhas oceanográficas realizadas entre as décadas de 1960 a 1990, resultando no conhecimento das características e comportamento das variáveis oceanográficas regionais, publicação dos resultados em artigos científicos, além da formação e qualificação de pesquisadores para atuar nessa área de conhecimento. Incluindo o fortalecimento de reconhecidas instituições de pesquisa, como o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, situado em Arraial do Cabo, o curso de Oceanografia, na UERJ, o segundo curso de graduação instituído no Brasil, além de diversos departamentos de Geologia, Física, Química, Biologia, Geoquímica, Bentologia e Nectologia, entre outros relacionados, em várias instituições de pesquisa e ensino na região.

O Rio de Janeiro, portanto, foi pioneiro ao direcionar esforços para obter informações imprescindíveis para o conhecimento da sua região costeira. Isso em um momento em que não se contava com políticas públicas voltadas para o mar e região costeira. Políticas essas somente posteriormente instituídas, ao nível federal, no ano de 1980, com a Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM), e, posteriormente, com o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), em 1988 (Brasil, 1988, 2005; CIRM, 2000).

Com a atenção despertada para os problemas ambientais que começaram a se fazer presentes a ponto de sensibilizar a comunidade acadêmica, começaram a ocorrer as primeiras campanhas para coleta de água, sedimento e biota, visando a avaliação de poluentes e, dentre eles, metais pesados nas baías e região costeira do Rio de Janeiro.

Estudos para a avaliação da concentração de metais pesados no sedimento e água da Baía de Guanabara remontam ao início da década de 1980, com trabalhos de pesquisas e publicações de Rebello, Lacerda e colegas, a partir de 1981, seguidos por outros que os sucederam (Niencheski et al., 2004).

Tal qual na Baía de Sepetiba, também a partir de 1981, com Lacerda, Pfeiffer, van Veerelt e Malm, inicialmente para, em seguida, serem continuados por Barcellos em conjunto com tantos outros pesquisadores que os seguiram (Niencheski et al., 2004).

No início, eram pesquisas inovadoras e alinhadas com o estado da arte afeito à avaliação de metais pesados nas matrizes água, sedimento e organismos com enfoque ambiental, no mesmo patamar de estudos semelhantes realizados alhures.

Os pesquisadores, nominal e genericamente citados, debruçaram-se sobre o tema metais pesados no sedimento da região, seja por meio de atuação em grupos, ou isoladamente, produzindo dados e informações a respeito dessas duas baías fluminenses ambientalmente degradadas, merecedoras de atenção e destaque.

O trabalho iniciado, além dos resultados gerados, também contribuiu para a formação de outras gerações de qualificados pesquisadores que continuam, até o presente, estudando e gerando novos dados e informações a respeito dessas regiões, dos problemas que as assolam e dos metais pesados que continuam a se depositar no seu pacote sedimentar.

O conjunto de dados organizados no banco de dados inicial que estimulou o presente trabalho, portanto, não pode ser considerado à margem desse contexto.

Contexto a ser fundamentado em distintos e complementares eixos de abordagem afeitos à história, memória e estratégia que nortearam os esforços na época.

O primeiro, histórico, em virtude de refletir o momento em que as amostras foram coletadas, cujos registros são um retrato parcial daquela realidade. E os resultados, medida do fenômeno ocorrido naquele momento, deixaram de existir logo em seguida à realização da coleta. Reflete um momento único, resultado da ação conjunta de diversas ações naturais e antropogênicas precedentes e coetâneas.

Qualquer um dos resultados presentes no banco de dados foi teve por objetivo retratar a respectiva e inerente realidade, afeita a cada um dos pontos de coleta. Se o valor apresentado na planilha reflete com precisão, ou não, o fenômeno que se buscava mensurar, é a avaliação que deve ser realizada.

Portanto, ao considerar o caráter de unicidade dos resultados das amostras coletadas, devem ser vistas como herança recebida de iniciativas e trabalhos pretéritos. Um elo com o passado que, como muitos outros, pode possibilitar o entendimento do evento associado à contaminação do sedimento por metais pesados a partir do início dos estudos.

No aspecto relacionado à memória, os dados devem ser tratados com respeito ao trabalho desenvolvido por dezenas de pesquisadores. Incluindo aqueles que já não se encontram mais presentes, em razão de terem dedicado seu tempo, capacidade intelectual, iniciativa e esforço para propor, executar e avaliar projetos cujos resultados, em muitas situações, são a parte tangível do que se buscou mensurar.

Um resultado produzido por alguém, nesse quadro, não é apenas um número que pode ou não guardar relação com a realidade e, em decorrência, ser utilizado ou descartado. É uma contribuição que fez parte do esforço desenvolvido com o intuito de instrumentar e esclarecer hipóteses de trabalho e questões de pesquisas.

Assim, em homenagem à memória daqueles que produziram a coletânea de dados armazenada em arquivos, há que se ater para extrair e utilizar o potencial que pode apresentar. Mesmo que ainda não se tenha clareza de qual possa ser.

E caracteriza, também, outra tarefa que cabe ser realizada.

E, com relação ao eixo estratégico, os dados disponíveis devem ser considerados como resultado de esforços e investimentos custeados pela sociedade com o fito de gerar informações para esclarecer aspectos voltados à avaliação e proteção dos ecossistemas expostos aos contaminantes e, particularmente, metais pesados.

Custear um projeto de pesquisa para coleta, análise laboratorial e interpretação dos resultados não envolve apenas as despesas imediatas necessárias para viabilizar a coleta, por meio dos meios flutuantes adequados, deslocamento e hospedagem da equipe, além do posterior processamento das amostras em laboratório. Abarca também investimentos em pessoal realizados anteriormente, dotação de infraestrutura, equipamentos e material de consumo, além do domínio do conhecimento construído ao longo de anos de trabalho em equipe, geralmente custeado pelo estado.

Essa complexa estrutura é resultado de planejamentos anteriormente elaborados por outras pessoas e instituições. Envolve grande e intrincada cadeia constituída por muitos profissionais qualificados e dedicados que demandou, é certo, elevado montante de recursos para implantação e custeio. E, como tal, mesmo que não monetizado, deve ser considerado com atenção e respeito por se tratar de recurso público alocado em um tempo que já não mais existe como tal. Mas, apenas pelos resultados disponíveis das amostras coletadas.

A Seção 4.1. Metais pesados no sedimento de fundo de ambientes costeiros, página 65, ressalta a importância do sedimento de fundo presente em ambientes costeiros, em baías e regiões com baixa hidrodinâmica, operando como registro e arquivo de poluentes originados por fontes autogênicas e, principalmente, antropogênicas. As atividades humanas desempenhadas ao longo do tempo podem impactar negativamente a biocenose local e a saúde de seres humanos que dependem, ou consomem, recursos biológicos renováveis assegurados por esses ecossistemas.

Demonstra, também, a importância que o monitoramento metódico e regular pode ter para fins de avaliação da qualidade ambiental e acompanhamento do

comportamento de poluentes e metais pesados no ambiente considerado.

E chama a atenção, ao considerar as características e importância que o sedimento de fundo desses ambientes apresenta para diagnosticar a poluição e a sua evolução ao longo do tempo, em contraposição à ausência de procedimentos por parte do executivo federal e estadual, demonstrando falta de interesse para atender os ditames legais no âmbito do monitoramento ambiental costeiro e dos recursos hídricos, como preconizado pelos respectivos instrumentos legais e políticas públicas.

Como, por exemplo, ocorre com os rios e estuários australianos que, distribuídos ao longo de 36.700 km de costa em mais de 1.000 estuários, foram caracterizados a partir de 1992 e regularmente monitorados após 2002 (Birch; Hutson, 2009b; National Land and Water Resources Audit, 2002a, 2002b).

Dentre outras iniciativas bem-sucedidas conduzidas em diferentes países, há décadas.

Concomitantemente à implantação das medidas acima, demonstra-se necessário, como ação complementar para avaliação da qualidade ambiental dos corpos d´água afluentes às baías, a mensuração da concentração de metais pesados no sedimento de fundo dos rios e canais.

O monitoramento da qualidade das águas a partir das condições e padrões físicos, químicos e microbiológicos possibilita classificar as águas em Classes de Qualidade (Especial, 1, 2, 3 e 4, para as águas doces), tendo em conta seus usos preponderantes (AGEVAP/CBH-BG, 2022; Brasil, 1997; CONAMA, 2005).

Na Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara, a análise da qualidade dos cursos d'água possibilitou caracterizá-los, para fins de enquadramento, em Classes de Qualidade, como apresentado na Figura 121.

Os trechos na coloração vermelha indicam os cursos d'água com características de Classe 4, a de pior qualidade. Na cor laranja, Classe 3, com qualidade menos ruim. Na cor amarela, Classe 2, e na cor verde, Classe 1, a água de melhor qualidade presente naquela RH V.

Ao considerar as periódicas coletas de amostras de água para monitoramento e avaliação da qualidade dos corpos d’água constata-se, mesmo

naqueles com as piores qualidades, que não são coletadas amostras de sedimento para avaliação de poluentes. Nesse quesito, torna-se necessário incluir, nesses procedimentos, a coleta e análise de material sedimentar para mensuração da concentração de poluentes e, dentre eles, metais pesados.

Esse procedimento, ao constituir diagnóstico a respeito da presença de metais pesados no sedimento de fundo dos corpos d'água da região, é o primeiro passo para definição de panorama a respeito da qualidade ambiental da região e, em seguida, subsidiar ações de planejamento, remediação e monitoramento da eficácia das medidas a serem adotadas.

Procedimento a ser adotado também nas RH II – Guandu e I – Baía de Ilha Grande.

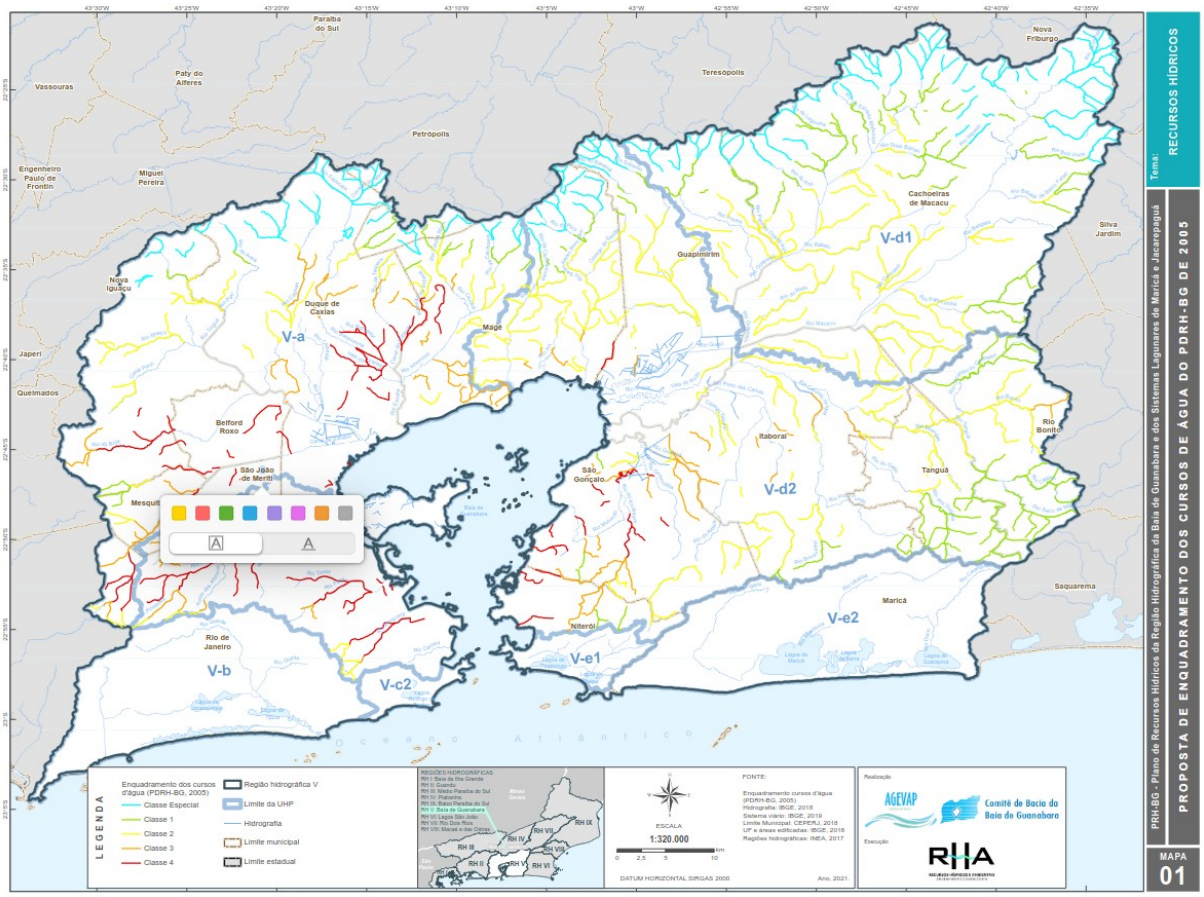


Figura 121. Classe de qualidade dos corpos d'água da RH V – Baía de Guanabara para fins de enquadramento. Fonte: AGEVAP/CBH-BG (2021).

Adicionalmente, o não cotejamento dos resultados dos metais pesados disponíveis no banco de dados com aqueles produzidos ao longo dos processos de

avaliação e monitoramento ambiental para licenciamento ambiental de portos, terminais e congêneres, com discrepantes valores já constatados, constitui lacuna que necessariamente deverá ser suprida.

No que se refere à Seção 4.2. Principais características e fontes autogênicas de metais pesados nas regiões hidrográficas e baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande, página 105, a partida se deu por meio de informações secundárias dispostas em planos de recursos hídricos, zoneamento ecológico-econômico costeiro, dissertações e teses, além de publicações científicas relacionadas aos aspectos físicos naturais – geologia, geomorfologia, clima, hidrologia e solos, na área emersa, oceanografia regional, variação relativa do nível do mar e ecossistemas costeiros, na área marinha e de transição - em cada região hidrográfica estudada.

A finalidade foi organizar as informações para possibilitar identificar, a partir da caracterização do meio natural, as rochas e regiões a se comportarem como fontes autogênicas de metais pesados para as baías estudadas.

Os resultados obtidos não facultaram identificar, até então, as rochas e formações, formas de relevo, tipos de solo e cobertura da terra a constituir fontes autogênicas de metais pesados para a região.

E, adicionalmente, registrar que a estrutura dos documentos que constituem os Planos Estratégicos de Recursos Hídricos da cada região hidrográfica apresentam estrutura distinta, dificultando a localização das informações buscadas.

Além de diferenças no tratamento das informações disponíveis, em algumas situações com superficialidade. E carência de informações quantitativas para cada bacia hidrográfica, dificultando a construção de cenários e diagnósticos tanto nas bacias hidrográficas consideradas como entre as regiões hidrográficas.

Passíveis de serem atendidas a partir das próximas atividades a serem realizadas, por quem de direito, para a obtenção das informações quantitativas consideradas imprescindíveis para a avaliação da contribuição das fontes autogênicas de metais pesados para as baías fluminenses.

Com relação à Seção 4.3. Atividades antropogênicas e qualidade ambiental nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, página 196, buscou caracterizar as baías a partir de atividades humanas realizadas em terra e na água, por meio de informações históricas e demográficas relacionadas aos meios rural, urbano e industrial, incluindo as iniciativas afeitas a ações governamentais como saneamento e atividades indutoras da economia local.

Os resultados apresentados, compilados, organizados e sintetizados a partir das principais atividades a caracterizar a cobertura e uso da terra nas áreas emersas das regiões hidrográficas, bem como do espelho d'água e substrato das três baías, possibilitaram estabelecer visão de conjunto e identificar os principais vetores responsáveis pela descaracterização, poluição e contaminação desses ambientes costeiros tanto por matéria orgânica como por substâncias químicas naturais e sintéticas de origem antropogênica.

A análise das informações espacializadas pelo território demonstrou que os dados disponíveis não são suficientes para avançar além das informações genéricas afeitas à distribuição da população, cobertura de saneamento, coleta de resíduos sólidos e drenagem urbana, normalmente apresentadas em termos de percentuais e ancoradas em Unidades Hidrológicas de Planejamento (UHPs).

As UHPs, ainda que instituídas para aprimorar os instrumentos de gestão, não sem mostram adequadas, como constatado, para avaliar a carga de poluentes lançadas na área de drenagem de qualquer curso d'água considerado.

Para esse intento, revela-se necessário considerar as unidades territoriais básicas da região hidrográfica, determinadas pelas bacias e sub-bacias hidrográficas, presentes.

Essas informações, dispostas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, Planos de Bacias, Atlas da Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara, dentre outros relatórios e documentos correlatos, não possibilitaram análises abarcando o território por meio das sub-bacias hidrográficas, unidade identificada como mais adequada para esse tipo de avaliação (AGEVAP/CBH-BG, 2020; Coimbra et al., 2021; Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente,

2014; PERH Guandu, 2017a; PRH-BIG, 2019).

Já a Seção 4.4. Atividades antropogênicas introdutoras de metais pesados nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, página 255, foi elaborada após a constatação da impossibilidade de obtenção de informações quantitativas relacionadas às atividades econômicas introdutoras de metais pesados no meio.

Como resultado da impossibilidade de consultar os bancos de dados do Sistema de Licenciamento Ambiental (SLAM), Inea, e da Federação de Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN), principalmente.

Para preencher essa lacuna, além de consulta às publicações que costumam abordar as fontes de metais pesados apenas qualitativamente, foram realizados levantamento junto aos cadastros da Receita Federal.

A estratégia adotada, voltada para a consulta e download de arquivos com informações de empresas ativas e inativas presentes na região de interesse em banco de dados públicos da Receita Federal, foi ação subsequente à definição das Seções, Divisões, Classes e Subclasses/atividades econômicas definidas na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) em decorrência da revisão bibliográfica realizada.

O número e tipos de empreendimentos identificados na região de estudo, portanto, deverão sofrer alterações na medida em que os processos produtivos, matérias-primas e insumos utilizados, bem como emissões, efluentes e resíduos gerados, se tornem melhor conhecidos.

E, em decorrência, atividades econômicas venham a ser excluídas, em razão de terem sido indevidamente incluídas, enquanto outras, aportadoras de metais pesados no meio, incluídas.

Adicionalmente, e tendo em conta fontes difusas de metais pesados no ambiente urbano e rural, há que se avançar para a estimativa da carga de poluentes produzida e não coletada pela rede pública de saneamento nas bacias hidrográficas, área disponível para drenagem da precipitação pluviométrica a alimentar o sistema de constituir drenagem urbana, tipos e dimensões das demais atividades com fontes difusas.

E, concomitantemente, avançar para obtenção de informações quantitativas a respeito dos processos produtivos, matérias-primas e insumos utilizados, bem como emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos gerados por atividades econômicas desenvolvidas nas áreas de estudo, indisponíveis até então.

Incluindo a identificação de áreas contaminadas a constituir passivos ambientais decorrentes das atividades econômicas mais impactantes na região, teme merecedor de atenção apenas na Região Hidrográfica II – Guandu.

A Seção 4.5. Avaliação espaço-temporal dos metais pesados no sedimento de fundo das três baías fluminenses entre 1980 e 2022, página 279, resultou do mote inicial para a realização do presente estudo constituído por conjunto de 238 amostras para a Baía de Guanabara, 594 para Sepetiba e 21 para Ilha Grande, totalizando 853 amostras de sedimento superficiais e de testemunhos, extraídas de 35 publicações listadas no tópico 8.1. . Apêndice 1 - Autores, títulos, ano de publicação e disponibilidade do documento na rede do banco de dados inicial, página 398.

A complementação e atualização do banco com outras publicações, constituídas por 91 artigos científicos e 99 documentos acadêmicos como teses, dissertações e monografias, aumentaram o número de amostras coletadas e analisadas, Quadro 89.

Quadro 89. Quantidade de pontos de coleta nas três baías no banco de dados inicial e após complementação e atualização.

Baía	**Número de amostras coletadas**		**Número de analitos (metais pesados) analisados**
	Banco de dados inicial	**Banco de dados até nov. 25**	
Guanabara	238	474	2.943
Sepetiba	594	642	3.688
Ilha Grande	21	420	3.202
Total	**853**	**1.536**	**9.833**

As informações dispostas apresentaram alguns valores anômalos, que assim se mantiveram mesmo após consulta a relatórios físicos na biblioteca do Inea e arquivos de publicações baixadas. A possível causa pode estar afeita à incorreta

conversão de valores dos registros dos dados das análises realizadas em laboratório para a planilha eletrônica, na medida em que, para os demais valores, os números apresentavam coerência ao considerar os demais analitos. Ou, ainda, pela incorreta conversão de coordenadas geográficas para UTM.

Bem como pelo sucessivo manuseio para exportação de dados para gerar os gráficos box plot e manuseio no software Quantum GIS (QGIS). Ao longo do trabalho, foram mais de 25 versões de planilhas para a Baía de Guanabara e Sepetiba, além de cerca de 10 para a Baía de Ilha Grande.

Em decorrência da quantidade de operações para alimentação, conversão e reversão de dados, o número de registros com informações anômalas aumentou nos bancos de dados das três baías estudadas.

Como consequência, os mapas gerados para cada metal pesado em cada uma das décadas para cada baía podem apresentar valores díspares em algumas situações. Bem como gráficos box plot gerados para o conjunto de resultados ao longo de todo o período, que também, em certas situações, não retratam adequadamente o que se considerou como realidade.

Adicionalmente, os resultados obtidos não possibilitaram estabelecer correlações com as fontes antropogênicas de metais pesados e eventos ocorridos, como, por exemplo, o extravasamento da pilha de rejeitos da Cia. Ingá Industrial, na Baía de Sepetiba, além de outras relações precisas para superar informações descritivas e qualitativas e possibilitar delinear relações de causa e efeito.

Quanto à Seção 4.6. Instrumentos legais, contenção e remediação de passivos relacionados aos metais pesados no sedimento de fundo na região costeira fluminense, página 318, o resgate do histórico com os principais marcos no processo que se materializou, no Brasil, por meio da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM), em 1980, a partir da qual foi instituída a legislação com o objetivo de atuar na região de transição entre a área continental e oceânica, a região costeira brasileira.

E, também, no âmbito dos recursos hídricos, a partir dos antecedentes que culminaram com a instituição da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH),

em 1997, bem como nos instrumentos decorrentes e focados nos recursos hídricos constituídos por águas doces, haja vista que as águas salobras e salinas não foram, até então, merecedoras de atenção devida no âmbito das atividades afeitas à materialização da PNRH.

Além de, por uma outra via, considerar os instrumentos federais instituídos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio de resoluções publicadas, a constituir as principais referências disponíveis para a avaliação de metais pesados no solo, águas subterrâneas, águas doces, salobras e salinas superficiais, incluindo sedimento.

As descrições apresentadas tiveram por objetivo definir os limites máximos toleráveis a partir da finalidade de uso do recurso considerado, inclusive, e especificamente no presente caso, para a disposição de sedimento contaminado em águas sob jurisdição federal, por ocasião de dragagens.

Na esfera estadual, foram identificados os instrumentos legais e normativos voltados ao licenciamento e monitoramento de empreendimentos poluidores e, especificamente, aqueles que apresentam relação com o aporte de metais pesados na região, de acordo com o estabelecido pela Norma Operacional Inea – NOP Inea – 48.

Tal qual os procedimentos e critérios do Programa Estadual de Autocontrole de Efluentes Líquidos – PROCON Água, por meio dos quais os responsáveis por atividades poluidoras autodeclaram regularmente à instituição, por meio do Relatório de Acompanhamento de Efluentes Líquidos – RAE, as características qualiquantitativas de efluentes líquidos gerados como parte integrante do Sistema de Licenciamento Ambiental (SELCA), de acordo com Inea (2021).

A ressalva reside no Adendo 3 – Referência de parâmetros mínimos a serem monitorados no PROCON Água para efluentes industriais e não sanitários, estabelecendo que as análises para metais pesados devem ocorrer nas indústrias e serviços listados. Mas não em diversos tipos de atividades realizadas nas bacias de drenagem que, de acordo com as referências consultadas, colocam-se como fontes de metais pesados em decorrência do tipo de empreendimento, processo produtivo utilizado e emissões, resíduos e efluentes gerados.

Com maior ênfase, ainda, para as atividades realizadas no espelho d'água, importantes introdutoras de contaminantes e metais pesados, junto às quais o estado não exerce nenhum tipo de avaliação e controle para monitoramento dos poluentes e contaminantes, onde se incluem os metais pesados.

Ainda com relação ao sistema institucional existente na esfera estadual, destaca-se, tendo em conta as características que apresenta, a Câmara Técnica Costeira (CTCost), ligada aos Comitês de Bacias Hidrográficas, desde que instituída pelo mesmo. E, ao potencial que apresenta na articulação dos diversos setores presentes no CBH para a consecução de seus objetivos junto às águas salobras e salinas, razão de ser dos ecossistemas costeiros.

Gritante lacuna nas ações do executivo na medida em que a manutenção da integridade desses ambientes asseguram papel e função fundamental tanto para as populações tradicionais que deles dependem como, também, para a população usuária desse espaço, tendo em conta os serviços naturais propiciados.

Em aderência, é importante ressaltar, as obrigações a serem atendidas pelo Brasil para honrar os compromissos assumidos como signatário da Convenção Ramsar, conforme promulgado pelo Decreto Federal n.° 1905/1996.

Ressaltando que a Convenção Ramsar destaca-se como uma das principais, se não a principal, motivadoras para a instituição dessas Câmaras Técnicas, como definido pela Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) n.° 148/2012.

No contexto da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), essa Convenção descortina importante leque de oportunidades para abordar diversos temas necessários e urgentes na região costeira, e especificamente com relação aos metais pesados no sedimento, não disponíveis em outras instâncias federais, estaduais ou municipais, ao considerar o caráter eminentemente integrativo que essa Câmara Técnica Costeira deve apresentar.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A Seção 4.1. Metais pesados no sedimento de fundo de ambientes costeiros, página 65, ao considerar a inexistência de dados de poluentes presentes no sedimento de fundo da rede de drenagem afluente para as baías fluminenses e, especificamente, na presença de metais pesados nesses ambientes sugere-se:

- iniciar o monitoramento ambiental costeiro, como preconizado pela Lei n.° 7.661/1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), mesmo na ausência do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, ainda não instituído pelo governo do Estado do Rio de Janeiro;
- incorporar aos procedimentos de monitoramento de pontos pré-determinados para monitoramento da qualidade dos corpos d'água, coleta de amostras de sedimento para avaliação de metais pesados, dentre outros poluentes, em regularidade a ser definida de acordo com as boas práticas reconhecidas, tal qual realizado em outros países;
- realizar diagnóstico da qualidade do sedimento nos corpos d'água cujas condições os caracterizem como Classe 3 e 4.
- comparar os dados apresentados e resultados obtidos na presente contribuição com aqueles produzidos por empresas de consultoria no processo de licenciamento e monitoramento ambiental de portos e terminais; manutenção, aprofundamento e alargamento de canais de acesso e áreas de evolução de navios; além da avaliação dos distúrbios e impactos ambientais gerados pela disposição de sedimento, muitas vezes contaminado, no Polígono de Disposição Oceânica – PDO, a constituir diagnóstico atualizado da distribuição de metais pesados no sedimento dos ambientes costeiros.

No que se refere à Seção 4.2. Principais características e fontes autogênicas de metais pesados nas regiões hidrográficas e baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande, página 105, a ausência de informações qualitativas e quantitativas a respeito desse tipo de fonte nas áreas de drenagem das baías estudadas impede a

definição de cenários.

Sugere-se contatar especialistas nas áreas de geologia, geomorfologia, pedologia, botânica e meteorologia, dentre outras áreas de conhecimento afins em universidades, instituições de pesquisa e órgãos do executivo para detalhamento das informações qualiquantitativas a partir da base cartográfica e de conhecimentos disponíveis.

Com relação à Seção 4.3. Atividades antropogênicas e qualidade ambiental nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, página 196, a ausência de informações quantitativas para estimativa da magnitude das contribuições das atividades listadas impossibilita fundamentar diagnósticos e cenários calcados em bacias e sub-bacias hidrográficas.

Adicionalmente, após constatada ausência de informações qualitativas e quantitativas a respeito das fontes antropogênicas de poluentes nas áreas de estudo, sugere-se:

- identificar especialistas nas áreas de agricultura, silvicultura, pecuária, mineração, drenagem e ocupação urbana, transporte rodo–ferro–aero–hidroviário, dentre outras complementares, em universidades, instituições de pesquisa e órgãos do executivo para detalhamento das informações qualiquantitativas e
- definir estratégia de trabalho para mensurar contribuições de metais pesados pelas diversas atividades antropogênicas presentes na região de estudo.

Já na Seção 4.4. Atividades antropogênicas introdutoras de metais pesados nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, página 255, a identificação das atividades econômicas responsáveis pela introdução de metais pesados no meio foi definida a partir da revisão bibliográfica. Isto posto, sugere-se:

- identificar e convidar pesquisadores das áreas de engenharia mecânica, produção, civil, naval e congêneres para identificar e

quantificar os processos produtivos responsáveis pela introdução de metais pesados no meio;

- contribuições de metais pesados por atividades “difusas” relacionadas ao ambiente urbano, principalmente;
- sistema de transporte rodoviário mediante a estimativa do número e distância média das viagens diárias percorridas pelos veículos automotivos, como motocicletas, automóveis, ônibus e caminhões, entre outros;
- sistema de transporte ferroviário, aéreo e hidroviário;
- movimentação de cargas e passageiros
- embarcações atuantes na pesca industrial, artesanal e amadora;
- turismo náutico;
- navegação de esporte e recreio, iates clubes, marinas e garagens de barcos;
- regiões sem coleta de efluentes;
- drenagem urbana para estimativa do volume e qualidade da água drenada para simulações e dimensionamento de caixas de aprisionamento de sedimento para retenção de metais pesados, microplásticos e micropolímeros, entre outros poluentes;
- resíduos sólidos e limpeza urbana;
- efluentes dispostos por emissários submarinos além de
- áreas contaminadas constituindo passivos ambientais até então não identificados ou divulgados.

Quanto à Seção 4.5. Avaliação espaço-temporal dos metais pesados no sedimento de fundo das três baías fluminenses entre 1980 e 2022, página 279.

Com relação à revisão e checagem dos dados dispostos no banco de dados inicial, diversas publicações estão disponíveis somente em meio físico e, portanto, inacessíveis na rede, impedindo a conferência dos resultados apresentados.

Sugere-se identificar e acessar os trabalhos, fotocopiar ou escanear para conferir e validar os resultados do banco de dados.

Diversas publicações apresentam os resultados, mas não a localização geográfica dos pontos de coleta, impedindo a sua utilização no banco de dados espaciais.

Adicionalmente, pesquisadores que atuam com o tema costumam ter informações armazenadas em banco de dados com resultados ainda não publicados.

Sugere-se, em ambos os casos, contatar e convidar os pesquisadores autores ou detentores desse banco de dados para participar da atualização do banco de dados.

O levantamento bibliográfico encontrava-se atualizado até novembro de 2025 e, portanto, já deve estar desatualizado.

Sugere-se elaborar levantamento bibliográfico sistemático para resgatar as publicações de interesse até data a ser determinada.

Os resultados dispostos no banco de dados não consideraram o método de digestão utilizado em decorrência de diversas publicações não explicitarem o procedimento adotado.

Sugere-se identificar os autores das publicações para resgatar essas, dentre outras, informações concernentes. Na impossibilidade de resgate ou da informação, constituir equipe de pesquisadores cientificamente reconhecidos para, em conjunto, definir o procedimento e realizar a curadoria dos valores reunidos no banco de dados.

Diversos resultados foram descartados por se situarem fora do espelho d’água da baía e rede de drenagem, possivelmente decorrente de datum ou sistema de projeção adotado, não informado na publicação de onde foram extraídos os dados.

Sugere-se identificar os autores e resgatar informações a respeito do sistema de coordenadas adotado, datum utilizado e precisão geográfica adotada, dentre outros assuntos correlatos.

Adicionalmente, há falta de uniformidade nas informações batimétricas e sedimentológicas reportadas no banco de dados.

Sugere-se resgatar informações a respeito da produndidade e caracteristicas

sedimentares do local de coleta, com os autores das publicações, para auxiliar na reconstituição da distribuição de sedimento de fundo para refinamento das análises geoestatísticas.

Mapas e gráficos gerados podem não refletir a realidade, principalmente na atualidade.

Sugere-se a atualização e revisão do banco de dados para minimizar esse óbice.

Sugere-se identificar o método de mapeamento e interpolação a ser aplicado na pilha de dados, bem como os tipos de gráficos a serem utilizados para melhor explorar a informação daqueles pontos.

A planilha eletrônica utilizada — Calc, LibreOffice e Excel, MSOffice — não apresenta recursos para inserir as informações consideradas importantes para a adequada avaliação do dado e sua qualidade, como profundidade e tipo de fundo, principalmente.

Adicionalmente, diversos resultados estão afeitos a um mesmo ponto de coleta realizado ao longo do tempo. Nesses casos, utilizou-se o valor da coleta mais recente para elaboração dos mapas e cartogramas.

Sugere-se migrar o banco de dados para estrutura parcialmente desenvolvida em PostgreSQL.

O banco de dados, logo após a publicação e disponibilização de acesso na rede, já estará desatualizado, mesmo adotando-se método de revisão bibliográfica sistemática regular.

Sugere-se, com o fito de evitar retrabalho e assegurar que o banco de dados mantenha-se atualizado, publicá-lo na rede para estimular o uso e alimentação com novos dados pela comunidade científica atuante com esse tema, a partir da adoção de critérios para proteção da propriedade intelectual nos moldes de ”Creative Commons (CC)”(2026).

Com a publicação do banco de dados na rede, o conteúdo poderá ser utilizado pela população como apoio a programas de educação ambiental.

E contribuirá para apresentar, divulgar e sensibilizar os interessados a respeito desse importante tema, não merecedor de maior atenção por parte dos

executivos nos três níveis de governo.

Quanto à Seção 4.6. Instrumentos legais, contenção e remediação de passivos relacionados aos metais pesados no sedimento de fundo na região costeira fluminense, página 318.

Os resultados apontam para a incapacidade do setor público, nos três níveis de governo, em fazer frente ao tema estudado, considerando a avaliação, controle, contenção e remediação dos ambientes sedimentares das baías fluminenses contaminados por metais pesados.

Com relação aos instrumentos legais e normativos identificados, sugere-se:

- realizar levantamento legal exaustivo para identificar instrumento eventualmente não localizado e
- estabelecer parcerias com o Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro, grupos de pesquisa atuantes na área do direito ambiental e difuso, estudos políticos, dentre outros correlatos, para desenvolvimento de massa crítica e grupos de trabalho.

No que respeita à abrangência e pertinência dos instrumentos legais e normativos disponíveis no Brasil e no estado do Rio de Janeiro, sugere-se:

- incitar a constituição de grupos de pesquisa para avaliar a adequação do instrumental legal na gestão de passivos ambientais causados por metais pesados em em corpos d'água e regiões costeiras;
- comparar o instrumental legal voltado para o controle e a administração do aporte de metais pesados decorrentes de atividades antropogênicas em ambientes costeiros no estado do Rio de Janeiro e Brasil com o disponível e utilizado em outros países;
- estimular o desenvolvimento de linhas de pesquisa em cursos de graduação e pós-graduação "stricto sensu", grupos de pesquisa em direito, direito ambiental, direito internacional, direito intergeracional e
- suscitar a instituição de linhas de pesquisa em cursos de graduação e pós-graduação "stricto sensu" e grupos de pesquisa em políticas públicas, relações internacionais e congêneres;

Com relação à necessidade de incidência política junto ao legislativo e executivo federal e estadual para fins de aprimoramento do aparato legal, normativo e institucional, sugere-se:

- estimular parcerias para definir estratégias de ação, métricas e produtos a serem definidos para dar início à gestão desse tipo de passivo ambiental representado pelos metais pesados no sedimento de fundo de ambientes costeiros no litoral do estado do Rio de Janeiro, mas não somente.

E, por derradeiro, mas não menos importante, estimular, por meio de cursos e sessões técnicas, o uso das informações agrupadas nos Planejamentos Estratégicos de Recursos Hídricos das regiões hidrográficas para qualificação técnica dos membros e participantes dos comitês de bacias hidrográficas e, em decorrência, assegurar participações e tomadas de posição a partir de informações tecnicamente balizadas, fundamentadas e disponíveis nos respectivos planos.

Infelizmente, situação ainda incomum nas instâncias onde o autor teve oportunidade de participar e, especificamente, no caso do CBH Baía de Guanabara

Nesse quesito, sugere-se que os membros eleitos, a compor nova plenária, participem de cursos de qualificação em recursos hídricos a partir das informações dispostas nos Planos de Bacia Hidrográfica, ou Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica, para que possam cumprir e honrar o importante papel esperado dessa instância fundamental para a manutenção da qualidade e quantidade de recursos hídricos, um bem cada vez mais escasso e ameçado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAGALE, Felix *et al.* Heavy metal concentration in wastewater from car washing bays used for agriculture in the Tamale metropolis, Ghana. **International Journal of Current Research**, v. 5, p. 1571–1576, 15 jun. 2013.

ABDALLAH ALNUWAISER, Maha. An Analytical Survey of Trace Heavy Elements in Insecticides. **International Journal of Analytical Chemistry**, v. 2019, n. 1, p. 8150793, 2019.

ACIESP. **Glossário de ecologia**. 2a. ed. São Paulo, SP: ACIESP, 1997.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasesgotos/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

AGEVAP. **Portal de Downloads de Mapas das RHs RJ**. Disponível em: <https://sigaaguas.org.br/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=1b40505a490c4f37b6aea5f0d56239a9>. Acesso em: 11 fev. 2026.

AGEVAP/CBH-BG. **RP-02 - Diagnostico 01 de 03**: Plano de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro, RJ: RHA Recusos Hídricos e Ambientais, 2020a. Disponível em: <https://comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2022/11/RP-02-Diagnostico-TOMO-I-Plano-de-Recursos-Hidricos.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.

AGEVAP/CBH-BG. **RP-02 - Diagnostico 03 de 03**: Plano de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro, RJ: RHA Recusos Hídricos e Ambientais, 2020b. Disponível em: <https://comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2022/11/RP-02-Diagnostico-TOMO-III-Plano-de-Recursos-Hidricos.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.

AGEVAP/CBH-BG. **RP-02 - Diagnostico 02 de 03**: Plano de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro, RJ: RHA Recusos Hídricos e Ambientais, 2020c. Disponível em: <https://comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2022/11/RP-02-Diagnostico-TOMO-II-Plano-de-Recursos-Hidricos.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.

AGEVAP/CBH-BG. **RP-05 - Relatorio da reformulação das diretrizes para implementação dos instrumentos de gestão**: Plano de Recurso Hdrico. Rio de Janeiro, RJ: RHA Recusos Hídricos e Ambientais, 2021. Disponível em: <https://comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2022/11/RP-05-Relatorio-da-reformulacao-das-diretrizes-para-implementacao-dos-instrumentos-de-gestao.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2025.

AGEVAP/CBH-BG. **PF-1 - Plano de Recursos Hídricos RH V BG**: Plano de Recursos Hídricos. *[S.l.]*: RHA Recusos Hídricos e Ambientais, 2022. Disponível em: <https://comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2022/11/PF-01-Plano-de-Recursos-Hidricos-da-Regiao-Hidrografica-da-Baia-de-Guanabara-e-Sistemas-Laagunares-de-Jacarepagua-e-Marica.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2025.

AGEVAP/CBH-BG. **Relatório síntese - atualização e complementação do plano de recursos hídricos da região hidrográfica da Baía de Guanabara e dos sistemas lagunares de Maricá e Jacarepaguá**. Rio de Janeiro, RJ: RHA Recusos Hídricos e Ambientais, 2023. Disponível em:

<https://comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2024/04/PF-02_Relatorio_Si%CC%81ntese.pdf>. Acesso em: 22 set. 2025.

AKINTUNDE, Emmanuel A. *et al.* **Physico-chemical, Heavy Metal and Microbial Analysis of Wastewater Discharged from Selected Laboratories in Bowen University, Nigeria**. Research Square, , 16 out. 2023. Disponível em: <https://www.researchsquare.com/article/rs-3423976/v1>. Acesso em: 30 out. 2025

AKTER, Nasima; RAHMAN, Amina; CHOWDHURY, Mushtaque. Environmental Investigation And Evaluation Of Sericulture Programme And Ayesha Abed Foundation. p. 63, 1998.

AL SATAR, Nawras Hadi Abd; SACHIT, Dawood Eisa. The effect of hospital wastewater discharge of Medical City, Baghdad on heavy metals concentration of the Tigris River. **Desalination and Water Treatment**, v. 230, p. 252–258, 1 ago. 2021.

ALAMGIR, Aamir *et al.* Impact of domestic and industrial effluent on marine environment at Karachi Port Trust (KPT) coastal area, Pakistan. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 11, p. 1–22, 1 nov. 2023.

ALENCAR, Emanuel. **Baía de Guanabara: descaso e resistência**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Mórula Editorial, 2021.

AL-HEETY, Lina F. D.; HASAN, Omer M.; AL-HEETY, Emad A. Mohammed Salih. Heavy Metal Pollution and Ecological Risk Assessment in Soils Adjacent to Electrical Generators in Ramadi City, Iraq. **Iraqi Journal of Science**, p. 1077–1087, 29 abr. 2021.

ALI, Kawther Hussein; AHMAD, Ali Bawasheakh. Evaluation of car wash effluent quality through various pollution indices. **Euphrates Journal of Agricultural Science-**, v. 17, n. 2, p. 1159–1170, 2025.

ALONSO-HERNÁNDEZ, C. M. *et al.* Heavy metal content of bottom ashes from a fuel oil power plant and oil 4 refinery in Cuba. **Fuel**, p. 4, 2011.

ALY, Ahmed M. A. *et al.* Decontamination of Heavy and Trace Metals by Using Natural Sorbents: A Case Study of Chemical Laboratory Wastewater Treatment. **Materials Proceedings**, v. 18, n. 1, p. 6, 2024.

AL-ZUBAIDI, Ahmed A.; KADHIM, Hamzah A.; AL-MOSAWI WALAA, M. Assessment of heavy metals in sediments and water accumulated by effects shipwrecks in Shatt Al-Arab River, southern Iraq. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1300, n. 1, p. 012025, fev. 2024.

AMANFO, Nti Nana Yaw; NYARKO, Baafi Eunice; JAIME, Grant Jesse. **Physico-chemical characteristics of wastewater at Saint Patrick's Hospital, Offinso, Ghana**. B. SC. Degree in Environmental Science—Ghana: Kwame Nkrumah University of Sciense and Technology, 2014.

ANYAKORA, Chimezie *et al.* Concentrations of heavy metals in some pharmaceutical effluents in Lagos, Nigeria. **Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicolog**, v. 3, n. 2, p. 25–31, 2011.

ATSDR AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Interaction profile for: arsenic, cadmium, chromium and lead**. Atlanta, GA,

EUA: U.S. Departament of Health and Human Services, 2004. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/interaction-profiles/media/pdfs/ip04.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

ATSDR AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for Zinc**. Atlanta, GA, EUA: U.S. Departament of Health and Human Services, 2005. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp60.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

ATSDR AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for Arsenic**. Atlanta, GA, EUA: U.S. Departament of Health and Human Services, 2007. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp2.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

ATSDR AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for Cadmium**. Atlanta, GA, EUA: U.S. Departamet of Health and Human Services, 2012a. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp5.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

ATSDR AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for chromium**. Atlanta, GA, EUA: U.S. Departament of Health and Human Services, 2012b. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp7.pdf>.

ATSDR AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for Manganese**. *[S.l.: S.n.]*. Disponível em: <https://wwwn.cdc.gov/tsp/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=102&tid=23>. Acesso em: 25 abr. 2025c.

ATSDR AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for Lead**. Atlanta, GA, EUA: U.S. Departament of Health and Human Services, 2020. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

ATSDR AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for Copper**. Atlanta, GA, EUA: U.S. Departament of Health and Human Services, 2024a. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp132.pdf>.

ATSDR AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for Mercury**. Atlanta, GA, EUA: U.S. Departametne of Health and Human Services, 2024b. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp46.pdf>.

ATSDR AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological Profile for Nickel**. Atlanta, GA, EUA: U.S. Departament of Health and Human Services, 2024c. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp15.pdf>.

BAI, Juan; ZHAO, Xiaofen. Ecological and Human Health Risks of Heavy Metals in Shooting Range Soils: A Meta Assessment from China. **Toxics**, v. 8, n. 2, p. 32, jun. 2020.

BALALI-MOOD, Mahdi *et al.* Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. **Frontiers in Pharmacology**, v. 12, 2021.

BANSAL, Om Prakash. Health Risks of Potentially Toxic Metals Contaminated Water. *In*: KANAYOCHUKWU NDUKA, John; NAGEEB RASHED, Mohamed (Orgs.). **Heavy Metal Toxicity in Public Health**. *[S.l.]*: IntechOpen, 2020.

BAPTISTA FILHO, Luiz Saavedra *et al.* Ok - Sources of pollutants in the northern/northeast area of Guanabara Bay (SE, Brazil) since the late nineteenth century using lead isotopes and metal concentrations. **Journal of Sedimentary Environments**, v. 4, n. 3, p. 332–349, 2019.

BAPTISTA NETO, José Antonio *et al.* Capítulo 8 - Sedimentologia da Baía de Guanabara. *In*: **Baía de Guanabara: descaso e resistência**. 1a. ed. Rio de Janeiro, RJ: Ape'Ku Editora e Produtora Ltda, 2021. p. 209–2028.

BARBIER, Pierluigi *et al.* Heavy metals in surface sediments near urban and industrial sewage discharges in the gulf of Trieste. **Toxicological & Environmental Chemistry**, v. 71, n. 1–2, p. 105–114, 1999.

BARCELLOS, C.; LACERDA, L. D. Cadmium and zinc source assessment in the Sepetiba Bay and basin region. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 29, n. 2, p. 183–199, 1994.

BASHIR, Musa *et al.* Heavy Metals Content in Laboratory Wastewater: A Case Study of Selected Units of Bayero University, Kano-Nigeria. **Bayero Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 14, p. 174–177, 6 jul. 2022.

BASTOS, Julia; NAPOLEÃO, Patricia (ORGS.). **O estado do ambiente: indicadores ambientais do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Secretaria Estadual do Ambiente, 2011.

BAUM, Camila Angélica *et al.* Evaluation of soil contamination by heavy metals at public cemeteries in the municipality of Lages, southern Brazil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 5, p. 883–891, 2021.

BAYMA; PAIXÃO, Luciane Rodrigues Lourenço; POMPEU, Maurício dos Santos (ORGS.). **Áreas prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade**. 2a Atualização ed. Brasília, DF: MMA, 2023.

BAYRAK, Kübra *et al.* Investigation of Heavy Metal Concentrations in The Gulf of Izmit (Marmara Sea) Altinova Shipyard Region. **Journal of the Turkish Chemical Society - JOTCSA**, v. 9, n. 4, p. 1263–1276, 2022.

BÉGUERY, M. **A exploração dos oceanos: a economia do futuro**. São Paulo, SP: DIFEL Difusão Editorial S.A., 1979.

BELO, Wellington Ceccopieri. O fundo marinho da baía da Ilha Grande, RJ: evidências da ação de correntes e de ondas no canal central com base em formas de fundo observadas em registros de sonar (100kHz). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 20, p. 17–30, 2002.

BELO, Wellington Ceccopieri; DIAS, Gilberto T. M.; DIAS, Marcelo Sperle. O fundo marinho da baía da Ilha Grande, RJ: o relevo submarino e a sedimentação no canal central. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 20, p. 5–15, 2002.

BÉRGAMO, Alessandro Luvizon. **Características hidrográficas, da circulação e dos transportes de volume e sal na Baía de Guanabara (RJ): variações sazonais e moduladas pela maré**. text—*[S.l.]*: Universidade de São Paulo, 4

out. 2006.

BIRCH, G. F. Determination of sediment metal background concentrations and enrichment in marine environments – A critical review. **Science of The Total Environment**, v. 580, p. 813–831, 2017.

BIRCH, Gavin. Marine pollution in Australia, with special emphasis on central New South Wales estuaries and adjacent continental margin. **International Journal of Environment and Pollution - INT J ENVIRON POLLUTION**, v. 13, 2000.

BIRCH, Gavin. Review and assessment of road-derived metals as a major contributor of metallic contaminants to urban stormwater and the estuarine environment (Sydney estuary, Australia). **Journal of Hazardous Materials**, v. 465, p. 133096, 5 mar. 2024.

BIRCH, Gavin F.; HUTSON, Philip. Use of Sediment Risk and Ecological/Conservation Value for Strategic Management of Estuarine Environments: Sydney Estuary, Australia. **Environmental Management**, v. 44, n. 4, p. 836–850, 2009a.

BIRCH, Gavin F.; HUTSON, Philip. Use of Sediment Risk and Ecological/Conservation Value for Strategic Management of Estuarine Environments: Sydney Estuary, Australia. **Environmental Management**, v. 44, n. 4, p. 836–850, 2009b.

BIRCH, Gavin F.; OLMOS, Marco A. Sediment-bound heavy metals as indicators of human influence and biological risk in coastal water bodies. **ICES Journal of Marine Science**, v. 65, n. 8, p. 1407–1413, 2008.

BLACK, Kenneth *et al.* **Review and Synthesis of the Environmental Impacts of Aquaculture**. *[S.l.: S.n.]*.

BLENINGER, Tobias. **Coupled 3D hydrodynamic models for submarine outfalls: Environmen- tal hydraulic design and control of multiport diffusers**. Tese de Doutorado—Karlsruhe, Germany: Universität Karlsruhe (TH), 2007.

BOBER, Thomas W. *et al.* Treatment of Photographic Processing Wastes. *In*: **Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment**. *[S.l.: S.n.]*. v. 37 p. 275–322.

BORGENS, Melinda. **Analysis of Toxic Pollutant Sources and Characteristics Contributing to Water Quality Impairments in the Willamette River Basin**. *[S.l.]*: Portland State University, 4 jun. 2019. Disponível em: <https://archives.pdx.edu/ds/psu/29358>. Acesso em: 18 out. 2025.

BRANDHUBER, Philip. Manage Water Quality to Control Lead in Drinking Water. **Opflow**, v. 44, p. 16–19, 1 jan. 2018.

BRASIL. Constituição do Estados Unidos do Brasil. . 1934 a.

BRASIL. Decreto 24.643 - Cógido das Águas. . 1934 b.

BRASIL. Constituição dos Estados Unidos do Brasil. . 1937.

BRASIL. Decreto - Lei 2848 - Código Penal. . 1940.

BRASIL. Constituição dos Estados Unidos do Brasil. . 1946.

BRASIL. Decreto 74.557 - Cria a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) e dá outras providências. . 1974.

BRASIL. 6938. Lei 6.938 - Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. . 31 ago. 1981.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. . 1988 a.

BRASIL. 7661. Lei 7.661- Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC. . 16 maio 1988 b.

BRASIL. 9.433. Lei 9.433 - Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH. . 8 jan. 1997.

BRASIL. Decreto 5.300. Decreto 5.300 - Regulamenta a Lei 7.661/88 que institui o PNGC e dá outras providências. . 7 dez. 2004.

BRASIL. Decreto 5.377 - Aprova a Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM). . 2005.

BRASIL. Lei 11.445 - Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. . 2007.

BRASIL. **Manual de Saneamento**. 5a. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde/Fundação Nacional de Saúde - Funasa, 2019. v. 1

BRASIL. 14.026. Lei 14.026 - Atualiza o marco legal do saneamento baśico. . 15 jul. 2020.

BRASIL. **Projeto Orla**. Disponível em: <https://www.gov.br/gestao/pt-br/assuntos/patrimonio-da-uniao/arquivos-anteriores-privados/projeto-orla/projeto-orla>. Acesso em: 30 jun. 2026.

BRAY, Nick; COHEN, Marsha. **Dredging for development**. 6a. ed. opmeer Drukkerij bv, the hague, the netherland: international association of Dredging Companies (IADC), 2010.

BRIANT, Nicolas *et al.* Trace elements in the sediments of a large Mediterranean marina (Port Camargue, France): levels and contamination history. **Marine Pollution Bulletin**, v. 73, n. 1, p. 78–85, 2013.

BRICKA, R. Mark; WILLIFORD, Clint W.; JONES, Larry W. **Heavy Metal Soil Contamination at U.S. Army Installations: Proposed Research and Strategy for Technology Development**. Vicksburg, MS: U.S. Army Corps of Engineers, 1994. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA279171>. Acesso em: 6 mar. 2026.

BROOMANDI, Parya *et al.* Soil Contamination in Areas Impacted by Military Activities: A Critical Review. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 9002, 2020.

BROWN, Jeffrey N.; PEAKE, Barrie M. Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. **Science of The Total Environment**, v. 359, n. 1, p. 145–155, 15 abr. 2006.

BRULAND, Kenneth W.; DONAT, John R.; HUTCHINS, David A. Interactive influences of bioactive trace metals on biological production in oceanic waters. **Limnology and Oceanography**, v. 36, n. 8, p. 1555–1577, 1991.

BUCKLER, Denny R.; GRANATO, Gregory E. **Assessing Biological Effects from Highway-Runoff Constituents**: National Highway Runoff Data and Methodology Synthesis. Northborough, Massachusetts: USGS, 1999. Disponível em:

<https://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr99-240/pdf/ofr99240.pdf>.

CAPELLO, Marcia; BROTTO, Daniel. Avaliação da capacidae de suporte dos bancos naturais de semenes do mexilhão “Perna Perna” em Jurujuba, Niterói, Rode Janeiro. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 49, n. 2, p. 33–40, 2016.

CARPENEDO, Camila Bertoletti; AMBRIZZI, Tércio. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul Associado ao Modo Anular Sul e Impactos Climáticos no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 605–613, 2020.

CARVALHO FILHO, Amaury de; JOSÉ FRANCISCO LUMBRERAS; SANTOS, Raphael David dos. Os solos do estado do Rio de Janeiro. *In*: **Projeto Rio de Janeiro: estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro**. Brasilia, DF: CPRM, 2000. p. 45.

CARVALHO, Yara Maria C. *et al.* A legislação brasileira de recursos hídricos como instrumentalização à gestão compartilhada. **evista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, 2008.

CASSI, Roberto; TOLOSA, Imma; MORA, Stephen De. A survey of antifoulants in sediments from Ports and Marinas along the French Mediterranean coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 56, n. 11, p. 1943–1948, 2008.

CASTELO, Wellen Fernanda Louzada. **Evolução ambiental da Baía de Sepetiba ocorrida no Holoceno médio e superior: Abordagem multiproxy sobre fatores naturais e antropogênicos**. Tese de Doutorado—Niterói, RJ: Universidade Federal Fluminense - UFF, 2020.

CASTREC, Justine *et al.* Active and passive biomonitoring of trace elements, polycyclic aromatic hydrocarbons, and polychlorinated biphenyls in small Mediterranean harbours. **Marine Pollution Bulletin**, v. 187, p. 114578, 2023.

CAVALLET, Luiz Ermindo; DE CARVALHO, Sebastião Garcia; FORTES NETO, Paulo. Heavy metals in the waste and in the water discharge area of municipal solid waste. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 3, p. 229–238, 20 dez. 2013.

CBH-BG. Resolução CBH-BG_110, 17/01/2022. . 2022.

CBH-BG. **Plano de Recursos Hídricos (PRH-BG)**. Disponível em: <https://comitebaiadeguanabara.org.br/plano-de-recursos-hidricos/>. Acesso em: 29 mar. 2025.

CELERE, Marina Smidt *et al.* Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, p. 939–947, abr. 2007.

CEPERJ. **Histórico e Características do Estado do Rio de Janeiro**. Governamental. Disponível em: <https://www.rj.gov.br/ceperj/historico-caracteristicas>. Acesso em: 26 ago. 2025.

CERDA, Cecilia; CASTRO, Belmiro M. Hydrographic climatology of South Brazil bight shelf waters between Sao Sebastiao (24°S) and Cabo Sao Tome (22°S). **Continental Shelf Research**, v. 89, p. 5–14, 2014.

CERHI-RJ. Res. 63. Resolução 63 - Dispõe sobre a criação de Subcomitês na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara. . 2011.

CERHI-RJ. Resolução 107 - Aprova nova definição das regiões hidrográficas do Rio de Janeiro. . 2013.

CETESB. **Histórico da legislação hídrica no Brasil**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/tpos-de-agua/historico-da-legislacao-hidrica-no-brasil/>. Acesso em: 14 fev. 2026.

CHAEMISO, Tamirat Dula; NEFO, Tariku. Removal Methods of Heavy Metals from Laboratory Wastewater. **Journal of Natural Sciences Research**, v. 9, n. 2, p. 7, 2019.

CHAMBERS, P. A. *et al.* Impacts of Municipal Wastewater Effluents on Canadian Waters: a Review. **Water Quality Research Journal**, v. 32, n. 4, p. 659–714, 1 nov. 1997.

CHEN, Chih-Feng *et al.* A novel pollution index to assess the metal bioavailability and ecological risks in sediments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 191, p. 114926, 2023.

CHENG, Zhang *et al.* Characteristics and health risk assessment of heavy metals exposure via household dust from urban area in Chengdu, China. **Science of The Total Environment**, v. 619–620, p. 621–629, abr. 2018.

CHIU, S. W. *et al.* Characterization of contamination in and toxicities of a shipyard area in Hong Kong. **Environmental Pollution**, v. 142, n. 3, p. 512–520, 1 ago. 2006.

CHM/DHN/MM. **Tábuas de Maré | Centro de Hidrografia da Marinha**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acesso em: 8 jan. 2022.

CHOU, C. L. *et al.* Aquaculture-related trace metals in sediments and lobsters and relevance to environmental monitoring program ratings for near-field effects. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, n. 11, p. 1259–1268, 1 nov. 2002.

CHOWDHURY, Nasrin; RASID, Mamunur. Heavy metal contamination of soil and vegetation in ambient locality of ship breaking yards in Chittagong, Bangladesh. p. 8, 2016.

CIRM. Res. 01/90. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC. . 1990 a.

CIRM. Resolução 01 - Aprova o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). . 1990 b.

CIRM. **A Política Nacional para os Recursos do Mar - PNRM**. Brasília, DF: Comissão Interministerial para os Recursos do Mar - CIRM, 2000.

CIRM. **Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC)**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/leplac>. Acesso em: 31 mar. 2025a.

CIRM. **Plano Setorial para os Recursos do Mar (PSRM)**. Oficial. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/psrm/sobre>. Acesso em: 31 mar. 2025b.

CIRM. **Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR)**. Oficial. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/pt-br/proantar/sobre>. Acesso em: 31 mar. 2025c.

CIRM. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC)**. Oficial. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/gerco>. Acesso em: 31 mar. 2025d.

CNRH. 148. Resolução CNRH 148, 13/12/12. . 2012, p. 27.

COIMBRA, J. P. P. *et al.* **Atlas da Região Hidrográfica V: Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá**. 1a. ed. Resende, RJ: AGEVAP, 2021.

COMISSÃO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO - CONCLA. CNAE 2.0 -1 - Introdução à Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE. *In*: 2.0 ed. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2015a. p. 10–39.

COMISSÃO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO - CONCLA. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE, versão 2.0**. 2a. ed. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2015b.

COMISSÃO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO - CONCLA. CNAE 2.0 - 3 - Estrutura detalhada e notas explicativas. *In*: 2.0 ed. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2015c. p. 75–357.

COMISSÃO NACIONAL DE CLASSIFICAÇÃO - CONCLA. **CNAE 2.3 Estrutura detalhada - planilha**. 2.3 ed. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2015d.

COMPANHIA VALE. **Terminal Ilha Guaíba**. Disponível em: <https://www.vale.com/logistics>. Acesso em: 10 jul. 2026.

CONAMA. Resolução 20 - Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. . 1986.

CONAMA. Resolucao 274 - Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. . 2000.

CONAMA. Resolução 344 - Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências. . 2004.

CONAMA. Resolução 357 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. . 2005.

CONAMA. Resolução 396 - Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. . 2008.

CONAMA. Resolução 420 - 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. . 2009.

CONAMA. Resolução 430 - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. . 2011 a.

CONAMA. Res. 430. Res. 430 - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. . 13 maio 2011 b.

CONAMA. Resolução 454 - Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. . 2012.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Resolução 145. Resolução CNRH 145, de 12/12/2012 - Estabelece diretrizes para a elaboração de Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas e dá outras providencias. . 12 dez. 2012.

CONSÓRCIO CKC COBRAPE. **Plano de Desenvolvimento Sustentável da Baia de Sepetiba**. , 2011. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/downloads2011/PDS%20da%20Baia%20de%20Sepetiba.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2026

CONSÓRCIO ECOLOGUS-AGRAR. **Plano Diretor de Recursos Hídricos RH V BG**. Rio de Janeiro, RJ: *[S.n.]*. Disponível em: <https://comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Plano-Diretor-de-Recursos-Hidricos-da-Baia-de-Guanabara-outubro-2005.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2025.

CONSÓRCIO LABAQUA & AQUALOGY BRASIL. **Melhorias para o monitoramento da qualidade dos corpos hídricos**. Rio de Janeiro: SEA/Inea, 2015.

CORTEZ, Rafael Henrique de Castro. **Caracterização oceanográfica de um canal de maré e da zona costeira adjacente: canal de Barra de Guaratiba - Baía de Sepetiba, RJ**. Dissertação de Mestrado—Rio de Janeiro, RJ: Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ, 2014.

COSENTINO, Luis Guilherme Franco. **Aproveitamento e descontaminação de água de Chuva - AAC**. . APRESENTAÇÃO CCR. **Anais**... . , 2023.

COUTINHO, Roberta Rodrigues. **Evolução da Baía de Sepetiba entre 1980-2020 baseado em dados de fotointerpretação**. Dissertação de Mestrado—*[S.l.]*: UFRJ, 2022.

COUTO, Lairson. **Revitalização e conservação de bacias hidrográficas**. *[S.l.]*: Editora Maré, 2023.

CPRM. Mapas Projeto Rio de Janeiro. *In*: **Projeto Rio de Janeiro: estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: CPRM, 2001. p. 20.

CREATIVA COMMONS - CC. **The commons belongs to us all**. Disponível em: <https://creativecommons.org/>. Acesso em: 17 jul. 2026.

CREED, Joel C.; CASARES, Fernanda A.; OIIVEIRA, Anderson E. S. Características Ambientais: Água. *In*: **Biodiversidade da Baía de Ilha Grande**. Biodiversidade. Brasilia: MMA, 2007. p. 111–131.

CUKROV, Neven *et al.* A recent history of metal accumulation in the sediments of Rijeka harbor, Adriatic Sea, Croatia. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 1, p. 154–167, 2011.

CUNHA, Cynara L. da Nóbrega; ROSMAN, Paulo C. C.; MONTEIRO, Teófilo C. N. Caracterização da circulação hidrodinâmica bidimensional da Baía de Sepetiba. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. **ABRHIDRO**. Aracaju, SE: ABRH, 2001. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/155/157.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2026

ĆWIELĄG-DRABEK, Małgorzata; FURMAN, Joanna; GUT-PIETRASZ, Klaudia. Heavy Metal Content in Tattoo and Permanent Makeup Inks and European

Standards—Is There Still a Health Risk? **Toxics**, v. 13, n. 11, p. 934, 2025.

DABROWSKA, Agnieszka; ŁOPATA, Iwona; OSIAL, Magdalena. The ghost nets phenomena from the chemical perspective. **Pure and Applied Chemistry**, v. 93, n. 4, p. 479–496, 2021.

DAMA, Sanata. **Correlation of Economic Status and Trace Metals Concentrations in Surface Soils in the Houston Metropolitan Area.** Tese de Doutorado—Texas, USA: Texas Southern University, 2021.

DANTAS, Marcelo Eduardo *et al.* Diagnóstico geoambiental do estado do Rio de Janeiro. *In*: **Projeto Rio de Janeiro: estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro**. Brasilia, DF: CPRM, 2000a. p. 33.

DANTAS, Marcelo Eduardo. Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro. *In*: **Projeto Rio de Janeiro: estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro**. *[S.l.]*: CPRM, 2000. p. 75.

DANTAS, Marcelo Eduardo *et al.* **Diagnóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**. *[S.l.: S.n.]*. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/644>. Acesso em: 20 jun. 2025b.

DAVENPORT, John; SWITALSKI, Adam. Chapter 14: Environmental impacts of transport, related to tourism and leisure activities. *In*: ALLOWAY, Brian J.; TREVORS, Jack T. (Eds.). **The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment**. Environmental Pollution. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2006a. v. 10 p. 333–360.

DAVENPORT, John; SWITALSKI, T. Adam. Chapter 14: Environmental impacts of transport, related to tourism and leisure activities. *In*: **The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2006b. p. 333–360.

DEGUENON, Esther *et al.* Hospital effluents as sources of antibiotics residues, resistant bacteria and heavy metals in Benin. **SN Applied Sciences**, v. 4, n. 8, p. 206, 8 jul. 2022.

DELGADO, Jessica *et al.* Extração sequencial BCR para frações geoquímicas e avaliação de Zn, Ni, Cd, Cu e Pb nos sedimentos costeiros no Complexo Portuário de Santos, Sudeste do Brasil. **Sistemas & Gestão**, v. 18, 2023a.

DELGADO, Jéssica de F. *et al.* Negative Impacts of Trace Metal Contamination on the Macrobenthic Communities along the Santos Port Complex—Brazil. **Eng**, v. 4, n. 2, p. 1210–1224, 2023b.

DHENKULA, Swati P. *et al.* Removal of heavy metals from laboratory waste liquid (LWL) generated from water and wastewater analytical laboratories. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 200, p. 107336, 1 ago. 2025.

DHN. **Carta Náutica 1620 - Barra da Baía de Guanabara à Ilha Grande**, 1986.

DHN. **Carta Náutica 1501 Baía de Guanabara**, 2006.

DHN. **Carta Náutica 1607 Baía de Ilha Grande, Angra dos Reis e Baía de Sepetiba**, 2015.

DOURADO, Francisco *et al.* Os novos empreendimentos na Baía de Sepetiba e o passivo ambiental da Cia Mercantil e Industrial Ingá. *In*: **Baia de Sepetiba**

Estado da Arte. Rio de Janeiro, RJ: Corbã, 2012. p. 253–262.

DUVERVAL, Felipe *et al.* Capítulo 20 - Retrato da pesca artesanal e recreativa na Baía de Guanabara/RJ. *In*: **Baía de Guanabara: descaso e resistência**. 1a. ed. Rio de Janeiro, RJ: Ape'Ku Editora e Produtora Ltda, 2021. p. 509–542.

EGHBALI, Kimia; MOUSAVI, Zahra; ZIARATI, Parisa. Determination of Heavy Metals in Tattoo Ink. **Biosciences Biotechnology Research Asia**, v. 11, n. 2, p. 941–946, 30 set. 2014.

ELEMENT COLLECTION, INC. **The Photographic Periodic Table of the Elements**. Disponível em: <https://periodictable.com/index.html>. Acesso em: 16 jun. 2025.

ELHADJ, Zoubida *et al.* Organic and heavy metal pollutants in dredged sediment of Oran Harbor, Algeria. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 9, p. 1–15, 2024.

EMSLEY, John. **Nature's building blocks: an A - Z guide to the elements**. Repr. (with corr.) ed. Oxford: Oxford University Press, 2001.

EPA. **Photographic processing subcategory of the photographic point source category**. Washington, D.C.: u.s. Environmental Protection Agency, 1976. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/photographic-eg_dd_1976.pdf>.

EPA. **Guidance specifyiing management measures for sources of nonpoint pollution in coastal waters**: Coastal Zone Act. Wahsington, DC: United States Environmental Protection Agency, 1993. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-10/documents/guidance-management-measures-nonpoint.pdf>.

EPA. **Marinas and boating National Management Measures**: Nonpoint Source Control Branch. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2001. Disponível em: <https://www.epa.gov/nps/marinas-and-boating-national-management-measures>.

ESPINOZA GUILLEN, José *et al.* Ecological risk assessment and identification of sources of heavy metals contamination in sewage sludge from municipal wastewater treatment plants in the Metropolitan Area of Lima-Callao, Peru. **Environment, Development and Sustainability**, v. 26, 25 nov. 2022.

FAYIGA, Abioye O. Remediation of inorganic and organic contaminants in military ranges. **Environmental Chemistry**, v. 16, n. 2, p. 81–91, 14 dez. 2018.

FLYHAMMAR, P. Estimation of heavy metal transformations in municipal solid waste. **Science of The Total Environment**, v. 198, n. 2, p. 123–133, 30 maio 1997.

FONSECA, Estefan; NETO, José Antonio Baptista; POMPERMAYER, Fabiana Cunha Leão. **Baía de Guanabara: um ambiente em transformação**. Rio de Janeiro, RJ: Ape'Ku Editora e Produtora Ltda, 2021.

FOTEINIS, Spyros; KALLITHRAKAS-KONTOS, Nikolaos G.; SYNOLAKIS, Costas. Heavy metal distribution in opportunistic beach nourishment: a case study in Greece. **TheScientificWorldJournal**, v. 2013, p. 472149, 2013.

FRANCO, Dison *et al.* The environmental pollution caused by cemeteries and cremations: A review. **Chemosphere**, v. 307, p. 13, 2022.

FRANZ, Barbara. **O Lixo Flutuante em Regiões Metropolitanas Costeiras no Âmbito de Políticas Públicas: O Caso da Cidade do Rio de Janeiro/ Barbara Franz. - Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2011.

FUNDAÇÃO COPPETEC/LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE. **R7 - Relatório Diagnóstico**: Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ: Inea, 2014.

GAO, Jiali *et al.* Risk assessment of heavy metals in pipe scales and loose deposits formed in drinking water distribution systems. **Science of The Total Environment**, v. 652, p. 1387–1395, 2019.

GAO, Xiaofeng *et al.* Characterization and environmental risk assessment of heavy metals in construction and demolition wastes from five sources (chemical, metallurgical and light industries, and residential and recycled aggregates). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 12, p. 9332–9344, 1 jun. 2015.

GEBKA, Karolina; BEŁDOWSKI, Jacek; BEŁDOWSKA, Magdalena. The impact of military activities on the concentration of mercury in soils of military training grounds and marine sediments. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 22, p. 23103–23113, 1 nov. 2016.

GHASEMI, Hadi; MASOUDIRAD, Azadeh. Concentrations of Heavy Metals in Wastewater of One of the Largest Dentistry Schools in Iran. **The International Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 11, n. 2, p. 113–114, 1 abr. 2020.

GHERARDI, Douglas Francisco Marcolino; CABRAL, Alexandre P. (ORGS.). **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima de Santos**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Departamento de Qualidade Ambiental, Gerência de Qualidade Costeira e do Ar, 2007.

GOKCEKUSH, Huseyin *et al.* The management of polluted coastal mining activities at Morphou Bay, northern Cyprus. *In*: **Natural Cataclysms and Global Problems of the Modern Civilization**. Baku-Innsbruck: nternational Academy of Science. H&E. ICSD/IAS, 2007. p. 179–187.

GREENWOOD, N. N.; EARNSHAW, A. **Chemistry of the Elements**. 1a. ed. Hong Kong: Tims Printing Co. Ltd., 1989.

GU, Wen Juan; LI, Ying; ZHANG, Xiao Hui. Printing Industry and the Environment. **Advanced Materials Research**, v. 663, p. 759–762, 2013.

GU, Xiang *et al.* A comprehensive assessment of anthropogenic impacts, contamination, and ecological risks of toxic elements in sediments of urban rivers: A case study in Qingdao, East China. **Environmental Advances**, v. 7, p. 100143, 1 abr. 2022.

GUERRA, Anoônio Teixeira. **Dicionário Geológico Geomorfológico**. 8a. ed. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 1993.

GUSTIN, M. S.; HOU, D.; TACK, F. M. G. The term “heavy metal(s)”: history, current debate, and future use. **Science of The Total Environment**, v. 789, p. 1–3, 2021.

GYIMAH, Eric *et al.* Ecological and human risk assessments of heavy metal contamination of surface soils of auto-mechanic shops at Bogoso Junction, Tarkwa, Ghana. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 11, p. 830, 26 set. 2022.

HAHLADAKIS, John N.; STYLIANOS, Michailakis; GIDARAKOS, Evangelos. Assessment of released heavy metals from electrical and electronic equipment (EEE) existing in shipwrecks through laboratory-scale simulation reactor. **JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS**, v. 250, p. 256–264, 15 abr. 2013.

HAND, Marcus. **ONE Apus estimated to have lost 1,900 containers in severe weather**. Disponível em: <https://www.seatrade-maritime.com/containers/one-apus-estimated-to-have-lost-1-900-containers-in-severe-weather>. Acesso em: 22 jul. 2025.

HAND, Marcus. **Maersk Essen losses 750 containers overboard on Pacific voyage**. Disponível em: <https://www.seatrade-maritime.com/containers/maersk-essen-losses-750-containers-overboard-on-pacific-voyage>. Acesso em: 22 jul. 2025.

HARKOT, Paulo F. Garreta. **Programa de Gestão Ambiental - Evolution Centro Automotivo Ltda.** São Paulo, SP: SEBRAE SP, 2009.

HARKOT, Paulo F. Garreta. **Câmara Técnica Costeira do CBH-BG: Iniciativas e primeiros passos para implantação - Paulo Harkot**. : XXIV ENCOB., 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-RgCGQFV1Ss>. Acesso em: 16 jul. 2026

HASSAN, Rashid; SCHOLES, Robert; ASH, Neville (ORGS.). **Ecosystems and human well-being : current state and trends : findings of the Condition and Trends Working Group**. 1. ed. Washington, D.C.: Island Press, 2005. v. 1

HAYES, C. R.; SKUBALA, N. D. Is there still a problem with lead in drinking water in the European Union? **Journal of Water and Health |**, v. 07, n. 04, p. 569–580, 2009.

HE, Zhenli L.; YANG, Xiaoe E.; STOFFELLA, Peter J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 19, n. 2–3, p. 125–140, dez. 2005.

HERMS, Friedrich; GURGEL, Marcio. Distribuição espacial de metais pesados nos sedimentos da Baía de Sepetiba, RJ. *In*: **Baía de Sepetiba: estado da arte**. Rio de Janeiro, RJ: Corbá, 2012. p. 151–177.

HILLIGES, Rita; SCHRIEWER, Alexander; HELMREICH, Brigitte. A three-stage treatment system for highly polluted urban road runoff. **Journal of Environmental Management**, v. 128, p. 306–312, 15 out. 2013.

HONG, Sungmin *et al.* History of Ancient Copper Smelting Pollution During Roman and Medieval Times Recorded in Greenland Ice. **Science**, v. 272, n. 5259, p. 246–249, 12 abr. 1996.

HOPE, Bruce K.; PILLSBURY, Lori; BOLING, Brian. A state-wide survey in Oregon (USA) of trace metals and organic chemicals in municipal effluent. **Science of The Total Environment**, v. 417–418, p. 263–272, fev. 2012.

HOSSAIN, Md Muzammel *et al.* A Review of Potentially Toxic Elements in Sediment,

Water, and Aquatic Species from the River Ecosystems. **Toxics**, v. 13, n. 1, p. 26, 2025.

HUBER, Maximilian; WELKER, Antje; HELMREICH, Brigitte. Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. **Science of The Total Environment**, v. 541, p. 895–919, 15 jan. 2016.

IARC. **A review of human carcinogens. Part C: Arsenic, metals, fibres, and dusts**. Lyon, France: ARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 2012.

IBAMA/MMA. **Plano de Manejo ESEC Tamoios - Fase 1**. Angra dos Reis, RJ: *[S.n.]*.

IBE, Francis Chizoruo *et al.* Environmental and health implications of trace metal concentrations in street dusts around some electronic repair workshops in Owerri, Southeastern Nigeria. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 12, p. 696, 3 nov. 2018.

IBRAHIMOVA, Minavar *et al.* Methods of removing heavy metals from wastewaters. **Processes of Petrochemistry and Oil Refining**, p. 41–87, 1 jan. 2025.

IDOWU, Gideon A. *et al.* Impact of gas and oil-fired power plants on proximal water and soil environments: case study of Egbin power plant, Ikorodu, Lagos State, Nigeria. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 8, p. 1352, 8 jul. 2020.

IDYLL, C. P. Marine Aquaculture: Problems and Prospects. **Journal of the Fisheries Research Board of Canada**, v. 30, n. 12, p. 2178–2183, 1973.

IKEDA, Yoshimine; STEVENSON, Merritt. Determination of circulation and short period fluctuation in Ilha Grande Bay (RJ), Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 29, n. 1, p. 89–98, 1 jan. 1980.

IKEDA, Yoshimine; STEVENSON, Merritt Raymond. Seasonal characteristics of hydrography, turbulence and dispersion near Ilha Grande (RJ), Brazil, based on R/V “Prof. W. Besnard” data. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 31, n. 1, p. 11–32, 1 jan. 1982.

ILABOYA, I. R. Spatial Characteristics of Heavy Metal Pollution and Potential Environmental Risk Assessment of Urban Soils around Cemeteries in Benin City, Nigeria. 21 maio 2024.

IMO. **Marine Environment**. London: International Maritime Organization, 2011. Disponível em: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Default.aspx>. Acesso em: 21 maio. 2025.

Inea. **Plano de Manejo Parque Estadual da Ilha Grande - PEIG**. Rio de Janeiro, RJ:/DIBAP/Inea/SEA, 2011.

Inea. **Diagnóstico do Setor Costeiro da Baía de Ilha Grande. Subsídios à elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro.** *[S.l.: S.n.]*. v. 1

Inea. 93. NOP-Inea-48 - Estabelecer Procedimentos e critérios do Programa Estadual de Autocontrole de Efluentes Líquidos - Procon Água. . 2021 a.

Inea. **Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos (Procon Água)**. Disponível em: <https://www.Inea.rj.gov.br/procon-agua/>. Acesso em: 5 fev.

2026b.

Inea. NOP-Inea-46. NOP-Inea-46-Enquadramento de empreendimentos e atividades sujeitos ao licenciamento e demais procedimentos de controle ambiental Resolução Inea 233/2021. . 18 ago. 2021 c.

Inea. **Áreas contaminadas**. Disponível em: <https://www.Inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/areas-contaminadas/Inea.rj.gov.br>. Acesso em: 21 jun. 2026.

INSTITUTO RIO 21. **Instituto Rio 21 - Rio de Janeiro tem o maior número de veleiros do Brasil**. **Instituto Rio 21**, 2021. Disponível em: <https://rio21.org/rio-de-janeiro-tem-o-maior-numero-de-veleiros-do-brasil/>. Acesso em: 14 jul. 2026

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. **Environmental, health, and safety guidelines for health care facilities**. *[S.l.: S.n.]*. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/118311496115696454/txt/115328-WP-ENGLISH-Health-Care-Facilities-PUBLIC.txt>. Acesso em: 31 out. 2025.

IWEGBUE, Chukwujindu M. A. *et al.* Risk of human exposure to metals in some household hygienic products in Nigeria. **Toxicology Reports**, v. 6, p. 914–923, 2019.

JABLONSKI, Silvio *et al.* **Levantamento de dados da atividade pesquiera na Baía de Guanabara como subsídio para a avaliação de impactos ambientais e a gestão da pesca**. *[S.l.]*: FEMAR/IBAMA, 2002. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/biodiversidade-marinha-do-sudeste-e-sul/acervo-digital/trabalhos-tecnicos/pub_2002_trab_levantamento_dados_atividades_pesqueira-1.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2026.

JAISHANKAR, Monisha *et al.* Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 7, n. 2, p. 60–72, 2014a.

JAISHANKAR, Monisha *et al.* Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 7, n. 2, p. 60–72, jun. 2014b.

JÄRUP, Lars. Hazards of heavy metal contamination. **British Medical Bulletin**, v. 68, n. 1, p. 167–182, 1 dez. 2003.

JENKINS, David; RUSSELL, Larry L. Heavy metals contribution of household washing products to municipal wastewater. **Water Environment Research**, v. 66, n. 6, p. 805–813, 1994.

JIAN, Li *et al.* Distribution and human health risk assessment of trace elements in the bivalve *Polymesoda erosa* from mangroves on Hainan Island, China. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 132, p. 106302, 1 ago. 2024.

JIAO, Xiaoyang *et al.* New insight into the microbiome, resistome, and mobilome on the dental waste water in the context of heavy metal environment. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, 20 abr. 2023.

JUANES, José Antonio *et al.* Environmental Impact Evaluation and Monitoring Methodologies of Submarine Outfalls in Spain. *In*: **Emissários submarinos: projeto, avaliação de impacto ambiental e monitoramento**. São Paulo, SP: SMA, 2006. p. 240.

KAMM, Nadia. **An Overview of Pollution from Shipwrecks**. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação - TCC—Cape Town, South Africa: University of Cape

Town, 2014.

KAPSIMALIS, Vasilios *et al.* A multi-criteria approach for the dumping of dredged material in the Thermaikos Gulf, Northern Greece. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 12, p. 2455–2465, dez. 2010.

KCI TECHNOLOGIES. **Os Rios da Baía de Guanabara_The Rivers of Guanabara Bay**. Maryland, EUA: University of Maryland Center for Environmental Science, 2017. Disponível em: <https://www.umces.edu/sites/default/files/Os%20Rios%20da%20Bai%CC%81a%20de%20Guanabara_The%20Rivers%20of%20Guanabara%20Bay.pdf>.

KCI TECHNOLOGIES, INC. **P02: diagnóstico do estado da Baía de Guanabara**: Diagnóstico do estado da Baía de Guanabara. Rio de Janeiro, RJ: SEA/UEPSAM, 2016a.

KCI TECHNOLOGIES, INC. **Usos da Baía de Guanabara_Uses of Guanabara Bay**. *[S.l.: S.n.]*.

KCL. **Produto P02: Diagnóstico do Estado da Baía de Guanabara – Relatório Parcial 1**. *[S.l.: S.n.]*.

KIM, Kwang-Soo. The State of Marine Pollution in the Waters adjacent to Shipyards in Korea - 2. Assessment of the Pollution of Heavy Metals in Seawater around Major Shipyards in Summer 2010. **Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety**, v. 21, n. 1, p. 9–17, 2015.

KIM, Minjung *et al.* Invisible Threats in Daily Life: Evaluating VOCs, Metals, and Hazards of Household Cleaning Products by Type. **Indoor Air**, v. 2024, n. 1, p. 2125845, 2024.

KIURSKI, J. S. *et al.* Occupational hazards in printing industry. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 13, n. 3, p. 955–972, 2016.

KJERFVE, Björn *et al.* Caribbean Basins: LOICZ global change assessment and synthesis of river catchment/island–coastal sea interaction and human dimensions. 1 jan. 2002a.

KJERFVE, Björn *et al.* Caribbean Basins: LOICZ global change assessment and synthesis of river catchment/island–coastal sea interaction and human dimensions. 1 jan. 2002b.

KOKORĪTE, Ilga *et al.* Soil Pollution with Trace Elements in Territories of Military Grounds in Latvia. **Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences.**, v. 62, n. 1–2, p. 27–33, 1 jan. 2008.

KRAJNOVIĆ, Zvonko; SMOLEK, Andrej. Impact of Military Activities on the Environment. **Strategos : Znanstveni časopis Sveučilišta obrane i sigurnosti „Dr. Franjo Tuđman“ i Hrvatskog vojnog učilišta „Dr. Franjo Tuđman"**, v. 8, n. 2, p. 89–124, 13 dez. 2024.

KUZENDORF, H. **Marine mineral exploration**. *[S.l.]*: The Netherlands: Elsevier Sciente & Technology, 1986. v. 41

LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE. 1 - R2-F - Caracterizacao ambiental. *In*: **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro**. Versão final ed. Rio de Janeiro: Fundação COPPETEC, 2014a. p. 105.

LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE. 18 - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro - PERHI-RJ - Relatório Síntese. *In*: **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, RJ: Fundação COPPETEC, 2014b. p. 125.

LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE. 12 - R7 - Diagnóstico e anexos. *In*: **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro**. Versão final ed. Rio de Janeiro, RJ: Fundação COPPETEC, 2014c. p. 489.

LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE. 19 - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro - PERHI-RJ - Relatório Gerencial. *In*: **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, RJ: Fundação COPPETEC, 2014d. p. 70.

LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE. 15 - R8-B - Cenários de demandas e balanço hídrico. *In*: **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro**. Versão final ed. Rio de Janeiro, RJ: *[S.n.]*. p. 240.

LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE. 5 - RT-02 - Avaliação da Rede Qualiquantitativa para Gestão das Águas no Estado do Rio de Janeiro e Proposição de Pontos de Controle em Bacias Estratégicas. *In*: **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro**. Revisão 3 ed. Rio de Janeiro, RJ: Fundação COPPETEC, 2014f. p. 134.

LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA E ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE. **PERHRJ RE2F - Caracterização Ambiental - Versão Final**. *[S.l.]*: Fundação COPPETEC/UFRJ, 2014g. . Acesso em: 14 dez. 2021.

LAMPARELLI, Cláudia Condé; ORTIZ, Jayme Pinto. **Emissários Submarinos: Projeto, Avaliação de Impacto ambiental e Monitoramento**. São Paulo, SP: Secretaria de Estado do Meio Ambente - SMA, 2003.

LEE, Hong-gil *et al.* Identification of Metal Contamination Sources and Evaluation of the Anthropogenic Effects in Soils near Traffic-Related Facilities. **Toxics**, v. 9, n. 11, p. 278, nov. 2021.

LEE, Seung-Cheol; SHIN, Kyung-Hoon; OH, Neung-Hwan. Sediments near industrial ports can be hotspots of fossil carbon accumulation. **Marine Pollution Bulletin**, v. 213, p. 117636, 1 abr. 2025.

LEMOS, Alexandre Paoliello. **Biodisponibilidade de metais em perfis sedimentares da Baía de Sepetiba: variabilidade espacial e ensaios de ressuspensão**. Dissertação de Mestrado—Niterói, RJ: Universidade Federal Fluminense - UFF, 2015.

LI, Chunming *et al.* Heavy metal pollution in coastal wetlands: A systematic review of studies globally over the past three decades. **Journal of Hazardous Materials**, v. 424, p. 127312, 2022.

LIM, Dhong-il *et al.* Toxicological impact assessment of heavy metal contamination

on macrobenthic communities in southern coastal sediments of Korea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 73, n. 1, p. 362–368, ago. 2013.

LIM, Yee-Cheng *et al.* Impacts of Fishing Vessels on the Heavy Metal Contamination in Sediments: A Case Study of Qianzhen Fishing Port in Southern Taiwan. **Water**, v. 14, n. 7, p. 1174, 2022.

LIU, J. *et al.* Sediment characteristics and environmental quality assessment in Kompong Som Bay, Cambodia. **Marine Pollution Bulletin**, v. 173, 2021.

LÖF, Anton; ERICSSON, Magnus; LÖF, Olof. **Marine mining and its potential implications for low- and middle-income countries**: WIDER Working Paper. Helsinki: UNU-WIDER, dez. 2022. Disponível em: <https://www.wider.unu.edu/node/240843>. Acesso em: 23 jul. 2025.

LOPES, Vera de Fátima Maciel. **Era uma vez uma ilha de Pescadores Artesanais: impactos socioambientais dos grandes complexos industriais, conflitos e resistência (Ilha da Madeira/Itaguaí/RJ)**. Tese de Doutorado—Rio de Janeiro, RJ: Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UERJ, 2013.

LUO, Mingyue *et al.* Anthropogenic activities influence the mobilization of trace metals and oxyanions in coastal sediment porewaters. **Science of The Total Environment**, v. 839, p. 156353, set. 2022.

LYTLE, Darren A.; SCHOCK, Michael R. Pitting corrosion of copper in waters with high pH and low alkalinity. **Journal AWWA**, American Water Works Association. v. 3, n. 100, p. 15, 2008.

MAHIQUES, Michel Michalovitch. **Considerações sobre os sedimentos de superfície de fundo da Baía de Ilha Grande, estado do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado—São Paulo, SP: Universidade de São Paulo, 1987.

MANAADIAR, Hariesh. **Why the Maersk Essen lost 689 containers overboard..** Disponível em: <https://www.shippingandfreightresource.com/why-the-maersk-essen-lost-689-containers-overboard/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

MARQUES, Eduardo Duarte *et al.* Impactos das cavas de extração de areia sobre a química das águas subterrâneas na região da Piranema, bacia sedimentar de Sepetiba, Rio de Janeiro. *In*: **Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim Experiências para a gestão dos recursos hídricos**. *[S.l.]*: CBH - Guandu, 2012. p. 214–237.

MARTIN, Louis; SUGUIO, Kenitiro; FLEXOR, Jean-Marie. As flutuações de nivel do mar durante o Quaternário superior e a evolução geológica de deltas brasileiros. **Boletim IG-USP. Publicação Especial**, n. 15, p. 1–186, 1993.

MARTÍNEZ-GARCÍA, M. J. *et al.* Heavy metals in human bones in different historical epochs. **Science of The Total Environment**, v. 348, n. 1, p. 51–72, 15 set. 2005.

MASINDI, Vhahangwele; MKHONZA, Philani; TEKERE, Memory. Sources of Heavy Metals Pollution. *In*: *[S.l.: S.n.]*.

MATSUURA, Yasunobu. A study of surface currents in the spawning area of brazilian sardine. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 24, p. 31–44, 1 jan. 1975.

MATSUURA, Yasunobu. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da Região Sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC. **Ciência e Cultura**, v. 38, n. 8, p. 1439–1450, 1986.

MAYR, Letícia Maria *et al.* Hydrobiological characterization of Guanabara Bay. **Coastlines of Brazil**, p. 124–138, 1989.

MELO, Geórgia Karênia Rodrigus Martins Marsicano; MARACAJÁ, Ketrin Farias Bem; DANTAS NETO, José. **Histórico evolutivo legal dos recursos hídricos no Brasil: uma análise da legislação sobre a gestão dos recursos hídricos a partir da história ambiental**. **Ãmbito Jurídico**, 2012. Disponível em: <https://ambitojuridico.com.br/historico-evolutivo-legal-dos-recursos-hidricos-no-brasil-uma-analise-da-legislacao-sobre-a-gestao-dos-recursos-hidricos-a-partir-da-historia-ambiental/>. Acesso em: 14 fev. 2026

MENDIGUCHÍA, Carolina *et al.* Preliminary investigation on the enrichment of heavy metals in marine sediments originated from intensive aquaculture effluents. **Aquaculture**, v. 254, n. 1, p. 317–325, 28 abr. 2006.

MING-HO, Yu. **Environmental toxicology: biological and health effects of pollutants**. 2a ed. ed. Boca Raton, Florida, EUA: CRC Press, 2012.

MIRANDA, Luiz Bruner de. Forma da correlação T-S de massas de água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 33, p. 105–119, 1985.

MMA. **Mapas - Relatório técnico Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade das zonas costeira e marinha**: Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade das zonas costeira e marinha. Brasilia, DF: Secretaria de Biodiversidade e Florestas/MMA, 2001.

MMA. **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília, DF: Secretaria de Biodiversidade e Florestas/MMA, 2002.

MMA. **Fichas Áreas Prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade brasileira - Zona Marinha**. Brasilia, DF: Secretaria de Biodiversidade e Florestas/MMA, 2007.

MONTEZUMA, Patrícia Ney de. **Impactos nos processos de assoreamento da Baía de Sepetiba-RJ, de sedimentos oriundos da bacia contribuinte e de dragagens portuárias**. Dissertação de Mestrado—Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2007.

MORAES, Antonio Carlos Robert. **Configuracão de metodologia para o macrozoneamento costeiro**. 1a. ed. Brasília, DF: IBAMA, 1993.

MORAIS, Simone; COSTA, Fernando Garcia e; PEREIRA, Maria de Lourdes. Heavy Metals and Human Health. *In*: OOSTHUIZEN, Jacques (Org.). **Environmental Health - Emerging Issues and Practice**. *[S.l.]*: InTech, 2012.

MORENO, Teresa *et al.* Effect of fireworks events on urban background trace metal aerosol concentrations: Is the cocktail worth the show? **Journal of Hazardous Materials**, v. 183, n. 1, p. 945–949, 15 nov. 2010.

MPRJ. **Hidrografia ERJ**. Disponível em: <https://geo.mprj.mp.br/portal/apps/mapviewer/index.html?layers=0e833fba96e1488eac52ca4a9de0f27d>. Acesso em: 26 ago. 2025.

MROZEK, Stephanie *et al.* Decorative Landscaping Rock as a Source for Heavy

Metal Contamination, Las Vegas NV. **Soil and Sediment Contamination**, v. 15, p. 471–480, 22 set. 2006.

MS. **Vigilancia e controle da qualidade da agua para consumo humano**. Brasilia, DF: Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental, 2006.

NANDAN, Abhishek; SIDDIQUI, N. A.; KUMAR, Pankaj. Assessment of environmental and ergonomic hazard associated to printing and photocopying: a review. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 41, n. 3, p. 1187–1211, jun. 2019.

NATIONAL LAND AND WATER RESOURCES AUDIT. **Australian catchment, river and estuary assessment - Volume 2**: National Land and Water Resources Audit Advisory Counci. Canberra, Australia: National Land & Water Resources Audit, 2002a.

NATIONAL LAND AND WATER RESOURCES AUDIT. **Australian catchment, river, and estuary assessment - Volume 1**. Canberra, Australia: National Land & Water Resources Audit, 2002b.

NATIONAL RESARCH COUNCIL. **Urban Stormwater Management in the United States**. Washington, D.C.: The National Academic Press, 2008.

NEGREIROS, Dora Hees; ARAÚJO, Fernanda de Paula; COREIXAS, Marilena Alfradique (ORGS.). **Nosos Rios**. Niterói, RJ: Instituto Baía de Guanabara, 2002.

NGBEJUME, U. U.; ANEGBE, B.; OKAFOR, C. F. Evaluation of the physico-chemical composition of soil at electronics repair workshops in Benin, Nigeria. **Journal of Chemical Society of Nigeria**, v. 47, n. 2, 4 maio 2022.

NIENCHESKI, Luis Felipe *et al.* **Oceanografia química - levantamento bibliográfico e identificação do estado atual do conhecimento**: Avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na zona econômica exclusiva - REVIZEE. *[S.l.]*: MMA/CIRM/REMAR, 2004.

NRIAGU, Jerome O. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. **Nature**, v. 279, n. 5712, p. 409–411, 31 maio 1979.

NRIAGU, Jerome O. A History of Global Metal Pollution. **Science**, v. 272, n. 5259, p. 223–223, 1996.

NRIAGU, Jerome; PACYNA, Jozef. Quantitative Assessment of Worldwide Contamination of Air, Water and Soils by Trace Metals. **Nature**, v. 333, p. 134–139, 12 maio 1988.

ONIANWA, P. C.; JAIYEOLA, O. M.; EGEKENZE, R. N. Heavy Metals Contamination of Topsoil in the Vicinities of Auto-Repair Workshops, Gas Stations and Motor-Parks in a Nigerian City. **Toxicol. and Environ. Chem**, v. 84, n. 1–4, p. 33–39, 2001.

OTEYOLA, Ayodeji Ojo; OLA-OLADIMEJI, Folasade Adesola. Chapter 7 - Heavy Metal Contamination from Construction Materials. *In*: **Ecological and Health Effects of Building Materials**. *[S.l.]*: Springer International Publishing Springer Cham, 2021.

ÖZŞEKER, Koray *et al.* Assessment of toxic metal contamination in coastal

sediments of major fishing ports in the Southeastern Black Sea, Türkiye: Spatial distribution, risk evaluation, and source identification. **Regional Studies in Marine Science**, v. 81, p. 103957, 2025.

PAN, Chih-Hong *et al.* Exposure to Multiple Heavy Metals and Health Hazards in Shipbuilding Workers. **ISEE Conference Abstracts**, v. 2016, n. 1, p. P2- 085, 17 ago. 2016.

PAN, Ke; WANG, Wen-Xiong. Trace metal contamination in estuarine and coastal environments in China. **The Science of the Total Environment**, v. 421–422, p. 3–16, 1 abr. 2012.

PARTAL, Recep; MURAT HOCAOGLU, Selda; YIGIT, Nevzat Özgu. Acute inhibition of hospital and medical laboratory wastewater on activated sludge. **Environmental Technology**, v. 45, n. 2, p. 262–271, 15 jan. 2024.

PEKEY, Hakan *et al.* Ecological Risk Assessment Using Trace Elements from Surface Sediments of Izmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey. **Marine pollution bulletin**, v. 48, p. 946–53, 1 maio 2004.

PEREIRA DA SILVA, Jonathas Magalhães *et al.* **Projeto Orla Paraty - Pré Diagnóstico**: Projeto Orla do Município de Paraty. Paraty, RJ: Brasil essa é a nossa praia - UFRN, 2023. Disponível em: <https://drive.google.com/drive/u/3/folders/1q-kTWQ98qejtFyTH1L4_Ie6m4qXfcRRk>.

PEREIRA, Silvia Dias *et al.* Baía de Sepetiba: caracterização sedimentar. *In*: II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA. **Anais**... Recife, PE: Associação Portuguesa de Recursos Hìdricos, 2003.

PEREZ, Kevin Antonio Tomala *et al.* Geochemical dynamics of coastal environments with shrimp farming activities in southern Bahia, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 213, p. 117626, 1 abr. 2025.

PERH GUANDU. **RP-02 - I - Relatório de Diagnóstico da Região Hidrográfica - Tomo I**. Rio de Janeiro, Brazil: AGEVAP/CBH-Guandu, 2017. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/wp-content/uploads/2021/10/RP.02-arq_pubMidia_Processo_063-2013_P2TOMOI.pdf>. Acesso em: 16 set. 2024.

PIBUL, Panatda; JAWJIT, Siriuma; YIMTHIANG, Supabhorn. Soil heavy metal pollution from waste electrical and electronic equipment of repair and junk shops in southern Thailand and their ecological risk. **Heliyon**, v. 9, n. 10, 1 out. 2023.

POCHODYŁA-DUCKA, Ewelina; GLIŃSKA-LEWCZUK, Katarzyna; JASZCZAK, Agnieszka. Changes in Stormwater Quality and Heavy Metals Content along the Rainfall–Runoff Process in an Urban Catchment. **Water**, v. 15, 8 out. 2023.

PORTO SUDESTE. **Porto Sudeste - Logística de granéis sólidos e líquidos**. **Porto Sudeste**, 2026. Disponível em: <https://www.portosudeste.com/nossa-estrutura/>. Acesso em: 10 jul. 2026

PORTOS RIO. **Portos Rio Autoridade Portuária**. Disponível em: <https://www.portosrio.gov.br/pt-br/portos/porto-do-rio-de-janeiro/historia-e-caracteristicas>. Acesso em: 14 jul. 2026.

PORTOS RIO AUTORIDADE PORTUÁRIA. **Porto de Itaguaí - Características |**

PortosRio. Disponível em: <https://www.portosrio.gov.br/pt-br/portos/porto-de-itaguai/caracteristicas>. Acesso em: 10 jul. 2026.

PORTUGAL. Conferência das Nações Unidas sobre o Direito do Mar - CNUDM.

PRATES, Ana Paula Leite; GONÇALVES, Marco Antonio; ROSA, Marcos Reis. **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**. 2a. rev. ampliada ed. Brasília, DF: MMA, 2012.

PRH-BIG. **RD02 - Relatório de Caracterização Socioeconômica**: Plano de Recursos Hìdricos da Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande. Angra dos Reis, RJ: *[S.n.]*.

PRH-BIG. **RD03 - Relatório do Mapeamento do Uso e Cobertura Vegetal**: Plano de Recursos Hìdricos da Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande. Angra dos Reis, RJ: Inea, 2018b.

PRH-BIG. **RD01 - Relatório de Caracterização Física e Biótica**: Plano de Recursos Hìdricos da Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande. Angra dos Reis, RJ: Comitê de Bacia Hidrográfica da Baía de Ilha Grande - CBG-BIG, 2019. Disponível em: <https://www.cbhbig.org.br/plano/produtos/01%20-%20Relato%CC%81rio%20de%20Caracterizac%CC%A7a%CC%83o%20Fi%CC%81sica%20e%20Bio%CC%81tica%20-%20RD01.pdf>.

PRH-BIG. **RD10 - Relatório síntese de diagnóstico**: Plano de Recursos Hìdricos da Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande. Angra dos Reis, RJ: CBH-BIG, 2020a. Disponível em: <https://www.cbhbig.org.br/plano/produtos/01%20-%20Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20do%20Diagno%CC%81stico%20-%20RD10.pdf>.

PRH-BIG. **RD06 - Relatório de anaĺise qualiquantitativa**: Plano de Recursos Hìdricos da Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande. Angra dos Reis, RJ: CBH-BIG, 2020b. Disponível em: <https://www.cbhbig.org.br/plano/produtos/06%20-%20Relato%CC%81rio%20de%20Ana%CC%81lises%20Qualiquantitativas%20-%20RD06.pdf>.

PRH-BIG. **RD09 - Relatório Balanço hídrico**: Plano de Recursos Hìdricos da Região Hidrográfica da Baía da Ilha Grande. Angra dos Reis, RJ: CBH-BIG, 2020c. Disponível em: <https://www.cbhbig.org.br/plano/produtos/09%20-%20Relato%CC%81rio%20do%20Balanc%CC%A7o%20Hi%CC%81drico%20-%20RD09.pdf>.

PROFILL ENGENHARIA. **RP-02 - Relatório de Diagnóstico da Região Hidrográfica II - Tomo I**: PERH Guandu. Poerto Alegre, RS: AGEVAP, 2017a. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/wp-content/uploads/2021/10/RP.02-arq_pubMidia_Processo_063-2013_P2TOMOI.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2025.

PROFILL ENGENHARIA. **RP-02 - Relatório de Diagnóstico da Região Hidrográfica II - Tomo II**: PERH Guandu. Rio de Janeiro, Brazil: AGEVAP/CBH-Guandu, 2017b. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/wp-content/uploads/2021/10/RP.02-arq_pubMidia_Processo_063-2013_P2TOMOII.pdf>. Acesso em: 16 set. 2024.

PROFILL ENGENHARIA. **RF-01 - Relatório Final do Plano Estratégico de**

Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim: PERH Guandu. Rio de Janeiro, RJ: AGEVAP/CBH-Guandu, 2018. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/wp-content/uploads/2021/10/AGVP_GUANDU_PRH-RF01_R01.pdf>.

PROJETO PLANÁGUA SEMADS/GTZ (ORG.). **Bacias hidrográficas e rios fluminenses: síntese informativa por macrorregião ambiental**. Rio de Janeiro, Brazil: SEMADS, 2001.

PUTHRAN, Dayanand; PATIL, Dilip. Usage of heavy metal-free compounds in surface coatings. **Journal of Coatings Technology and Research**, v. 20, n. 1, p. 87–112, 2023.

RAMSAR. Resolution VIII.4 - Wetland issues issues in Integrated Coastal Zone Management (ICZM). *In*: 8TH MEETING OF THE CONFERENCE OF THE CONTRACTING PARTIES TO THE CONVENTION ON WETLANDS (RAMSAR, IRAN, 1971). **Wetlands: water, life, and culture**. Valencia, Spain: 2002a.

RAMSAR. Resolution VIII.32 - Conservation, integrated management, and sustainable use of mangrove ecosystems and their resources. *In*: 8TH MEETING OF THE CONFERENCE OF THE CONTRACTING PARTIES TO THE CONVENTION ON WETLANDS (RAMSAR, IRAN, 1971). **“Wetlands: water, life, and culture**. Valencia, Spain: 2002b.

RAMSAR. Resolution IX.4 - The Ramsar Convention and conservation, production and sustainable use of fisheries resources. *In*: 9TH MEETING OF THE CONFERENCE OF THE PARTIES TO THE CONVENTION ON WETLANDS (RAMSAR, IRAN, 1971). **Wetlands and water: supporting life, sustaining livelihoods**. Kampala, Uganda: 2005.

RAMSAR. Resolution X.24 - Climate change and wetlands. *In*: 10TH MEETING OF THE CONFERENCE OF THE PARTIES TO THE CONVENTION ON WETLANDS (RAMSAR, IRAN, 1971). **Healthy wetlands, healthy people**. Changwon, Republic of Korea: 2008.

RANGEL, Carlos Marclei Arruda; OLIVEIRA, Priscilla Soares. Capítulo 5 - Bacia de drenagem da Baía de Guanabara. *In*: **Baía de Guanabara: descaso e resistência**. 1a. ed. Rio de Janeiro, RJ: *[S.n.]*. p. 121–146.

RANJBAR JAFARABADI, Ali *et al.* Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. **Chemosphere**, v. 185, p. 1090–1111, out. 2017.

RAO, K. Venugopala; RAO, N. Someswara. Composition of dredged spoils of Indian harbours: Part I — heavy metals. **Science of The Total Environment**, v. 207, n. 1, p. 13–19, 1997.

Report of the United Nations Water Conference, Mar del Plata, 14-25 March 1977. New York: UN, 1977.

RICCOMINI, Claudio. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado —São Paulo, SP: Universidade de São Paulo, 1989.

RINDELAUB, Joel D. *et al.* The contribution of commercial fireworks to both local and

personal air quality in Auckland, New Zealand. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 17, p. 21650–21660, 1 maio 2021.

RIO DE JANEIRO. 3,239. Lei 3.239 - Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos. . 4 ago. 1999.

RIO DE JANEIRO. 27.208. Decreto Estadual 27.208/2000 - Dispõe sobre o Conselho Estadual de Recursos HÍdricos e dá outras providências. . 2 out. 2000.

RIO DE JANEIRO. Decreto Estadual 46.890 - Dispõe sobre o Sistema Estadual de LIcenciamento e Demais procedimetnos de controle ambiental - SELCA, e dá outras providências. . 2019.

ROCHA, Paulo Alexandre Costa; VIEIRA, Vicente de Paulo Pereira Barbosa; CASTRO, Marco Aurêlio HOlanda de. A evolução das legislações estaduais de recursos hídricos no brasil, com vistas à nova lei do Estado do Ceará. *In*: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS - ABRHIDRO. **XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (XIV SBRH),**. ABRHidro, 2001. Disponível em: <https://aprh.pt/pt/publicacoes/artigos/a-evolucao-das-legislacoes-estaduais-de-recursos-hidricos-no-brasil-com-vistas-a-nova-lei-do-estado/>

RODRIGUES, Maria Antonieta C.; PEREIRA, Silvia Dias; SANTOS, Sonia Barbosa dos (ORGS.). **Baía de Sepetiba: estado da arte**. Rio de Janeiro: Corbã Editores e Artes Gráfica Ltda., 2012.

RODRIGUES, Sarah Karoline. **Spatial patterns and environmental risk associated to trace metals in sediments from Sepetiba Bay, Rio de Jjaneiro, Brazil**. Tese de Doutorado—Rio de Janeiro, RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2018.

ROGOWSKA, Justyna *et al.* Surface sediments pollution due to shipwreck s/s “Stuttgart”: a multidisciplinary approach. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 29, n. 7, p. 1797–1807, 1 out. 2015.

RONCARATI, Helio; CARELLI, Soraya Gardel. Considerações sobre o estado da arte dos processos geológicos Cenozóicos atuantes na Baía de Sepetiba. *In*: **Baía de Sepetiba: Estado da Arte**. Rio de Janeiro, RJ: Corbã, 2012. p. 13–38.

ROSMAN, Palo Cesar Corona *et al.* **Baías de Ilha Grande e Sepetiba**. Disponível em: <http://www.baiasdobrasil.coppe.ufrj.br/assets/relatorios/rel_ilhagrande_sepetiba.html>. Acesso em: 6 jan. 2022.

ROSMAN, Paulo Cesar Colonna *et al.* **Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Relatório descritivo**: Projeto Baías do Brasil. Rio de Janeiro, RJ: COPPE - UFRJ, 2017. Disponível em: <https://www.baiasdobrasil.coppe.ufrj.br/assets/relatorios/rel_baia_guanabara.html#5.2>. Acesso em: 19 set. 2022.

ROSMAN, Paulo Cesar Corona. **Projeto Baías do Brasil - Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Relatório Descritivo**. Rio de Janeiro, RJ: COPPE - UFRJ, 2017. Disponível em: <http://www.baiasdobrasil.coppe.ufrj.br/#>. Acesso em: 19 set. 2022.

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. **Periodic Table**. Disponível em: <https://periodic-

table.rsc.org/>. Acesso em: 23 abr. 2025a.

ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY. **The Periodic Table of Videos**. Disponível em: <http://www.periodicvideos.com/>. Acesso em: 23 abr. 2025b.

SAHIN, Volkan; VARDAR, Nurten. Determination of Wastewater Behavior of Large Passenger Ships Based on Their Main Parameters in the Pre-Design Stage. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 8, p. 546, ago. 2020.

SALGADO, Carla Maciel; OLIVEIRA, Allan Sandes de; ARMOND, Núbia Beray. Capítulo 6 - O clima da Baía de Guanabara. *In*: **Baía de Guanabara: descaso e resistência**. 1a. ed. Rio de Janeiro, RJ: Ape'Ku Editora e Produtora Ltda, 2021. p. 147–174.

SANTOS, Ariane *et al.* **regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro**, 2008.

SEENEMAR/CEDEMAR. I Webnar do Grupo de Trabalho de Mineração no Mar (GT MINEMAR). *In*: 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/results?search_query=I+Webnar+do+Grupo+de+Trabalho+de+Minera%C3%A7%C3%A3o+no+Mar+(GT+MINEMAR)>

SERUP, j.; KLUGER, N.; BÄUMLER, W. **Tattooed Skin and Health**. Basel, Switzerland: S.Karger AG, 2015. v. 48

SHAHAROONA, Baby *et al.* The role of urbanization in soil and groundwater contamination by heavy metals and pathogenic bacteria: A case study from Oman. **Heliyon**, v. 5, n. 5, 1 maio 2019.

SIGNORINI, Sérgio Romano. A study of the circulation in Bay of Ilha Grande and Bay of Sepetiba: part I. a survey of the circulation based on experimental field data. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 29, n. 1, p. 41–55, 1980.

SILVA, Luiz Carlos da *et al.* Geologia do estado do Rio de Janeiro. *In*: **Projeto Rio de Janeiro: estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro**. 2a. Edição revista ed. Brasilia, DF: CPRM, 2001. p. 94.

SILVA, Maria Augusta Martins da *et al.* Praias da Baía de Guanabara no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 2, 2016.

SIRINARA, Patthrarawalai *et al.* Assessing exposure of printing factory workers in thailand to selected heavy metals using urine and hair as non-invasive matrices. **BMC Public Health**, v. 23, n. 1, p. 31, 5 jan. 2023.

SKORBIŁOWICZ, Mirosław; SIDORUK, Marcin. Assessment of Heavy Metal Content and Identification of Their Sources in Bottom Sediments and Various Macrophyte Species of the Narew River (Poland). **Minerals**, v. 15, n. 1, p. 8, 2025.

SNEZHKINA, Anastasiya V. *et al.* ROS Generation and Antioxidant Defense Systems in Normal and Malignant Cells. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2019, p. 6175804, 5 ago. 2019.

SOMASUNDARAM, Swarnalatha *et al.* Characterization of wastes from construction and demolition sector. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 1, p. 4200, 13 dez. 2014.

SÖRME, L.; LAGERKVIST, R. Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. **Science of The Total Environment**, v. 298, n. 1, p. 131–145, 21 out. 2002.

SOUZA, Alexandre Santos de. **A influência de contaminantes residuais sobre populações do caranguejo Chasmagnathus granulata Dana, 1851 (Crustacea, Varunidae) e o impacto da antropização industrial sobre a comunidade de mosquitos (Diptera, Culicidae) em áreas de manguezal na Baía de Guanabara, Estado do Rio de Janeiro, Brasil**. Tese de Doutorado—Rio de Janeiro, RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2006.

SOUZA, Amarílio Pereira de *et al.* **Estimativa do custo total de implantação de estações de tratamento de efluentes das industriais do Estado do Rio de Janeiro, situadas na bacia do Rio Paraíba do Sul, na bacia da bacia da Baía de Sepetiba e na Região Metropolitana**. Rio de Janeiro, RJ: FEEMA, 1980. Disponível em: <https://www.lnea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/MEMORIA_TECNICA/CD%203/MEMORIA%20TECNICA%203/MT%20500%20-%20MT%20705/MT%20705.pdf>. Acesso em: 21 out. 2024.

SQA MMA; MP SPU. **Projeto Orla: fundamentos para gestão integrada**. Brasilia, DF: MMA/SQA; MP/SPU, 2002.

SULTANA, Salma *et al.* Ecological and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Cultured Shrimp and Aquaculture Sludge. **Toxics**, v. 10, n. 4, p. 175, abr. 2022.

TAC FRADE. **Subprojeto observatório socioambiental de Sepetiba**. , 2026. Disponível em: <https://tacfrade.org.br/subprojeto-observatorio-socioambiental-de-sepetiba/>. Acesso em: 13 jul. 2026

TALIB, AdelH.; ABDULATEEF, Zainab N.; ALI, Zainab A. Measurement of some Air Pollutantsin Printing Units and Copy Centers Within Baghdad City. **Baghdad Science Journal**, v. 18, n. 1, 30 mar. 2021.

TATONE, L. M. *et al.* Trace Metals in Settling Particles from the Sewage Impacted Buenos Aires Coastal Area in the Río de la Plata Estuary, Argentina. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 90, n. 3, p. 318–322, 1 mar. 2013.

TCHOUNWOU, Paul B. *et al.* Heavy Metal Toxicity and the Environment. *In*: LUCH, Andreas (Org.). **Molecular, Clinical and Environmental Toxicology: Volume 3: Environmental Toxicology**. Basel: Springer, 2012. p. 133–164.

The Club of Rome. Disponível em: <https://www.clubofrome.org/publications/>. Acesso em: 14 fev. 2026.

TIWARI, Jitendra Nath *et al.* Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) and Heavy Metals in the Vicinity of an Oil Refinery in India. **Soil and Sediment Contamination: An International Journal**, v. 20, n. 3, p. 315–328, 21 abr. 2011.

TROKHYMENKO, Ganna *et al.* Assessment of iron and heavy metals accumulation in the soils of the combat zone. **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, v. 5, p. 6–16, 31 out. 2023.

TURNER, Andrew. Trace elements in fragments of fishing net and other filamentous plastic litter from two beaches in SW England. **Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)**, v. 224, p. 722–728, 2017.

TURNER, Andrew. Trace elements in laundry dryer lint: A proxy for household

contamination and discharges to waste water. **Science of The Total Environment**, v. 665, p. 568–573, 2019.

ULLAH, Inam *et al.* The Role of Metals in Biological Control of Insects. *In*: **Advances in Entomology [Working Title]**. *[S.l.]*: IntechOpen, 2025.

UNACOOP. **Diagnóstico Territorial - Território Baía da Ilha Grande – Rio de Janeiro**. , 2008a. . Acesso em: 3 dez. 2021

UNACOOP. **Diagnósticos Municipais Baía de Ilha Grande**. *[S.l.]*: União das Associações e Coopertavias de Pequenos Produtores Rurais do Estado do Rio de Janeiro, 2008b. Disponível em: <http://unacoop.org.br/articulacao-territorial>. Acesso em: 20 nov. 2021.

UNACOOP. **Diagnostico Territorial - Território Baía de Ilha Grande - Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, RJ: União das Associações e Cooperativas Usuárias do Pavilhão 30 - UNACOOP, 2011. . Acesso em: 12 dez. 2021.

VALENTIN, J. L. *et al.* O sistema planctônico da Baía de Guanabara: síntese do conhecimento. *In*: **Ecologia de Ambientes Costeiros do Estado do Rio de Janeiro**. Oecologia Brasiliensis. Rio de Janeiro, Brasil: PPGE-UFRJ, 1999. v. VII p. 35–59.

VALERIANO, Claudio de Morisson *et al.* **Geologia e recursos minerais da folha Baía de Guanabara SF.23-Z-B-IV**. *[S.l.]*: CPRM, 2012. Disponível em: <http://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/11375>. Acesso em: 20 jun. 2025.

VILLENA, Hélio Heringer *et al.* Indícios da variação do nível do mar na Baía de Sepetiba. *In*: **Baía de Sepetiba: Estado da Arte**. Rio de Janeiro, RJ: Corbâ, 2012. p. 39–59.

WALLACE, David R.; BUHA DJORDJEVIC, Aleksandra. Heavy metal and pesticide exposure: A mixture of potential toxicity and carcinogenicity. **Current Opinion in Toxicology**, v. 19, p. 72–79, fev. 2020.

WAN, Jie *et al.* Distribution, contamination and provenance of heavy metals in sediments from the nearshore area of Weihai City, eastern Shandong Peninsula, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 190, p. 114877, 1 maio 2023.

WANG, Ya-Fen *et al.* Characteristics of Heavy Metals Emitted from a Heavy Oil-Fueled Power Plant in Northern Taiwan. **Aerosol and Air Quality Research**, v. 10, p. 111–118, 2010.

WASSERMAN, J. C.; FREITAS-PINTO, A. A. P.; AMOUROUX, D. Mercury concentrations in sediment profiles of a degraded tropical coastal environment. **Environmental Technology (United Kingdom)**, v. 21, n. 3, p. 297–305, 2000.

WATSON, Sally J. *et al.* The footprint of ship anchoring on the seafloor. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 7500, 7 maio 2022.

WHO. **Lead in Drinking-water: background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality**. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2011. Disponível em: <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/lead-background-feb17.pdf?sfvrsn=fc50727b_4>. Acesso em: 26 out. 2025.

WHO (ORG.). **Guidelines for drinking-water quality**. Fourth edition incorporating the first and second addenda ed. Geneva: World Health Organization, 2022.

WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION. **Marie Tharp: Pioneering Mapmaker of the Ocean Floor**. , 2021. Disponível em: <https://web.whoi.edu/womens-comm/marie-tharp-pioneering-mapmaker-of-the-ocean-floor/>. Acesso em: 15 fev. 2026

WU, Guangnan; REICHART, Gert-Jan; KRAAL, Peter. Reactivity and potential mobility of metals in human-impacted harbor sediments (Port of Rotterdam, the Netherlands). **Journal of Soils and Sediments**, v. 25, n. 1, p. 277–291, 2025.

YU, Danfeng *et al.* Characterizing the environmental impact of metals in construction and demolition waste. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 14, p. 13823–13832, 1 maio 2018.

ZHANG, Gucheng *et al.* Distribution of Heavy Metals in Surface Sediments of a Tropical Mangrove Wetlands in Hainan, China, and Their Biological Effectiveness. **Minerals**, v. 13, n. 12, p. 1476, dez. 2023.

ZHANG, Z. *et al.* Heavy metals and metalloids content and enrichment in Gulf Coast sediments in the vicinity of an oil refinery. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 159, p. 93–100, 2015.

8. APÊNDICES

8.1. Apêndice 1 - Autores, títulos, ano de publicação e disponibilidade do documento na rede do banco de dados inicial

Artigos, autores, ano da publicação tipo de amostra, ano de coleta das amostras e, quando existente, link para acesso ao arquivo da publicação do banco de dados inicial.

Quadro 90. Relação das publicações, autores, ano de publicação, características e ano da coleta das amostras incluindo do link, quando disponível, para acesso aos dados do documento citado.

Nome	Ano publicação	Tipo de amostra	Ano coleta	Link
Lacerda, LD; Pfeiffer, WC.; Fiszman, M. Níveis naturais de metais pesados em sedimentos marinhos da baía da Ribeira, Angra dos Reis - Ciência e Cultura, 34(7)).	1982	Sedimento superficial	1981	Arquivo não localizado na rede
Sena/Feema, Levantamento de Metais Pesados na Baía de Guanabara. Vol I - Relatório Final	1982	Sedimento superficial	1980	https://www.Inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/MEMORIA_TECNICA/CD%203/MEMORIA%20TECNICA%203/MT%20730%20-%20MT%20841/MT%20736.pdf
Lacerda, LD, Aplicação de metodologia de abordagem pelos parâmetros críticos no estudo da poluição por metais pesados na Baía de Sepetiba, RJ. Tese de doutorado na Biofísica da UFRJ.	1983	Sedimento superficial	1982	Arquivo não localizado na rede
Lacerda, LD & Abrao, IJ. Heavy metal accumulation by mangrove and salt-marsh interdital sediments. Revista Brasileira de Botânica, 7: 49-52.	1984	Sedimento superficial	1983	Arquivo não localizado na rede
Lima, NRW; Pfeiffer, WC & Fiszman, M. Ciclagem de matais pesados em bancos de Spartina alterniflora na Baía de Sepetiba, RJ. In. Acta Limnologica Brasileira vol.1, pg 317-340.	1986	Testemunho	1984	Arquivo não localizado na rede
Aragon, GT. Estudo Geoquímico de metais pesados em sedimentos da planície de maré na enseada das Garças, Baía de Sepetiba, RJ. UFF Dissertação de mestrado departamento de Geoquímica.	1987	Testemunho	Não informado - NI	Arquivo não localizado na rede
Patchineelam & Bezerra. Distribuition of heavy metal	1987	Sedimento	1986	

Nome	Ano publicação	Tipo de amostra	Ano coleta	Link
in Coroa Grande mangrove deposits, Rio de Janeiro, Brazil. In 67th International Conference of Heavy metals in the environment 1987. Edinburg, New Orleans. Proceedind v1. p-497-499		manual		Arquivo não localizado na rede
Lacerda, LD; Rezende, EC; Silva, CAR & Wasserman, JC. Metallic Composition of sediments from mangroves of the SE brazilian coasts	1987	Sedimento superficial	1985	Arquivo não localizado na rede
Silva, Carlos Augusto Ramos e. Distribuição e ciclagem de metais pesados em um ecossistema de manguezal dominado por Rhizophora Mangle L.,Baia de Sepetiba - RJ. [Dissertação da UFF]/Carlos Augusto Ramos e Silva. Niterói, RJ. .70f Niteroi,1988.70p.Dissertacao.()-.LACERDA,Luiz Drude de, Or.	1988	Testemunho	1987	Arquivo não localizado na rede
Pestana, MHD. Partição Geoquímica de Metais Pesados em sedimentos estuarinos nas baías de sepetiba e ribeira, RJ,. Niterói, 210p. Disserção mestrado geoquimica - Instituro de Química - UFF	1989	Sedimento superficial	NI	Arquivo não localizado na rede
Malm, O.; Pfeiffer, WC; Lacerda, LD; Fizsman, M & Lima, NRW. Heavy Metals Pollution Monitoring through the critical pathways analysis: the sepetiba bay case. In Coastlines of Brazil.	1989	Sedimento superficial		Arquivo não localizado na rede
Rodrigues, PPGW. Aporte de Metais Pesados para a Baia de Sepetiba e seu comportamento na regiao estuarina. Niteroi, 90p. Dissertacao de mestrado em Geoquimica - Instituto de Quimica, UFF	1990	Sedimento superficial	1989	Arquivo não localizado na rede
Barcellos Neto, CC. Distribuição e comportamento de	1991	Testemunho	NI	Arquivo não localizado na rede

Nome	Ano publicação	Tipo de amostra	Ano coleta	Link
metais pesados em uma área de lançamento de rejeitos de uma industria de zenco e cádmio (Baia de Sepetiba, RJ) Tese de Mestrado em Ciencias Biologicas- Biofísica na UFRJ. 102p.				
Kurita & Pfeiffer. Heavy metal in sediment and biota of Sepetiba bay, RJ - Brazil. In: International Conference on Heavy Metals in the Environment; p.519-522p.	1991	Sedimento superficial	1988	Arquivo não localizado na rede
Carvalho, CEV. Distribuição de metais em sedimentos da plataforma continental nordeste e sudeste do Brasil. Dissertação de mestrado em Geoquímica na UFF, Niterói. 91p.	1992	Testemunho	NI	Arquivo não localizado na rede
Dib, KA.. O transporte de sedimentos em suspensão e a concentração de metais pesados em sedimentos de fundo nos rios da Baixada de Sepetiba, Rio de Janeiro. Tese de mestrado no PPGG/UFRJ. 107p.	1992	Sedimento manual	1988	Arquivo não localizado na rede
Dornelles, LMA. Metais pesados nos sedimentos na plataforma continental entre Ilha Grande e Cabo Frio (RJ) e suas associações com a granulometria conteúdo de carbonato de cálcio e matéria orgânica. Geoquimica - UFF	1993	Sedimento superficial	NI	Arquivo não localizado na rede
Barcellos, C. Geodinâmica de Cádmio e Zinco na Baía de Sepetiba	1995	Sedimento superficial	NI	http://teses.icict.fiocruz.br/pdf/barcelloscd.pdf
Wasserman, Figueiredo & Fávaro. A preliminary study on a mangrove core using neutron activation technique. International Geochemistry in Tropical Countries. 431-434 p.	1996	Testemunho	1996	http://repositorio.ipen.br/handle/123456789/13621
Magalhães, VF. Contaminação ambiental por Arsênio:	1996	Sedimento	1994	Arquivo não localizado na rede

Nome	Ano publicação	Tipo de amostra	Ano coleta	Link
o Caso da Baía de Sepetiba, RJ. Tese de doutorado no Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, UFRJ. 119p.		superficial		
Marins, RV. Avaliação da contaminação por mercúrio emitido por fontes difusas em um sistema costeiro subtropical- o caso da Baía de Sepetiba, RJ.	1998	Sedimento superficial	1984	Arquivo não localizado na rede
Marins, RV; Lacerda, LD & Villas Boas, RC. Relative Importance of Non-Point Sources of Mercury to an Industrialized Coastal System, Sepetiba Bay, SE Brazil. Enviromental Science, Berlin, 208-220p.	1999	Sedimento superficial ?	1996	https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-03754-6#about-this-book
Veeck, L. Estudo da distribuição do mercúrio em sedimentos da Baía de Sepetiba.	1999	Sedimento superficial	1996	Arquivo não localizado na rede
Pellegatti, F. Determinação de metais pesados e outros elementos em sedimentos da Baía de Sepetiba (RJ) por Ativação Neutrônica. São Paulo	2000	Testemunho	1997	http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Fabio%20Pellegatti_M.pdf
Ferreira da Silva, LF. Ciclagem de Mercúrio em um ecossistema de manguezal na Floresta de Itacuruçá, Baía de Sepetiba, RJ	2000	Sedimento superficial e testemunho	NI	Arquivo não localizado na rede
Dornelles, LMA. Monitoramento de Metais pesados na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil, com base em geoprocessamento	2000	Sedimento superficial	1996	Arquivo não localizado na rede
Pellegatti, F.; Figueredo, AMG & Wasserman, JC. Neutron activation analysis applied to the determination of Heavy Metals and other trace elements in sediments from sepetiba bay (RJ), Brazil. Geostandards Newsletter, vol 25, p. 307-315.	2001	Sedimento superficial	1997	https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1751-908X.2001.tb00607.x
Molisani, MM; Marins, RV; Machado, W; Paraquetti,	2001	Sedimento	2001	https://loicz.org/public/loicz/products/r_and_s/

Nome	Ano publicação	Tipo de amostra	Ano coleta	Link
HHM & Lacerda, LD. Some implications of Inter-basin water transfers - Mercury emissions to Septiba Bay from the Paraiba do Sul river basin, SE Brazil. In South American Basins - LOICZ Global Change Assessment and Synthesis of river catchmaent - Coastal sea interacyion and Human Dimension nº 21edited by Lacerda, LD, Kremer, HH; Kjerfve, B. Salomons, W; Marshall Crossland, JI & Crossland, CJ.		superficial		report21.pdf
Mac hado, W.; Moscatelli, L.G; Rezende, L.G; Lacerda L.D.Mercury, zinc and copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brasil	2002	Testemunho	2000	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749102001082
Machado,W.; Silva-Filho E.V.; Oliveira R.R.; Lacerda L.D. Trace metal retention in mangrove ecosystems in Guanabara Bay, SE Brazil	2002	Sedimento superficial	1997	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X02002321
Andrade, R.C.B.: Piritização de metais-traço na Baía de Sepetiba-RJ	2003	Testemunho	NI	Arquivo não localizado na rede
Coimbra, AG. Distribuição de metais pesados em moluscos e sedimentos nos manguezais de Coroa Grande e da Enseada das Graças, Baia de Sepetiba, RJ. Dissertação de mestrado na Geoquímica Ambiental da UFF.72p. Niterói.	2003	Sedimento superficial	NI	http://www.bdtd.ndc.uff.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=206
Daniel Dias Loureiro; Julius Tortoza & Friedrich Wilhelm Herms. Distribuição espacial de metais pesados no sedimento superficial da Baía de Sepetiba, RJ.	2003	Sedimento superficial	NI	http://www.mendeley.com/research/distribuio-espacial-metais-pesados-sedimento-superficial-da-baa-sepetiba-rj/

Nome	Ano publicação	Tipo de amostra	Ano coleta	Link
Lopes, PRS. Fracionamento Geoquímico do mercúrio relacionado à atividade bacteriana em sedimentos de manguezal	2004	Sedimento superficial	2002	Arquivo não localizado na rede
Tatiana Santos da Cunha. Cronologia da deposição de elementos-traço nos últiomos 50 anos nas Baías de Sepetiba e Ilha Grande (RJ). Dissertação (Mestrado em Geociências (Geoquímica)) - Universidade Federal Fluminense, . Co-Orientador: Alphonse Germaine Albert Charles Kelecom.	2005	Testemunho	2001	https://app.uff.br/riuff/handle/1/5809

8.2. Apêndice 2 - Atividades econômicas realizadas nas regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande

8.2.1. Seção A - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura

Abarca a exploração controlada e ordenada, que difere do extrativismo, dos recursos naturais vegetais e animais, seja em ambiente natural ou protegido, incluindo os serviços de apoio às unidades de produção dessas atividades (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Para atender aos objetivos do presente estudo, as Subclasses/atividades econômicas dessa Seção foram classificadas em atividades realizadas em terra e atividades realizadas na água ou substrato dos ambientes costeiros.

A Seção A conta com três Divisões, 12 Grupos e 34 Classes e 122 Subclasses/atividades econômicas CNAE, Quadro 91.

Quadro 91. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
A	AGRICULTURA, PECUÁRIA, PRODUÇÃO FLORESTAL, PESCA E AQUICULTURA			
	01	AGRICULTURA, PECUÁRIA E SERVIÇOS RELACIONADOS		
		01.1	7	Produção de lavouras temporárias
		01.2	2	Horticultura e floricultura
		01.3	6	Produção de lavouras permanentes
		01.5	6	Pecuária
		01.6	3	Atividades de apoio à agricultura e à pecuária; atividades de pós-colheita
	03	PESCA E AQUICULTURA		
		03.1	2	Pesca
		03.2	2	Aquicultura

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas nessa Seção foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 92; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 93; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 94, além da Figura 122.

Quadro 92. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas Marítimas na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Alexo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	
Seção A - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura		76	21	7	7	35	0	40	49	18	0	15	47	5	5	43	**368**

Quadro 93. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	
Seção A - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura		21	27	24	11	**83**

Quadro 94. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	**INEA**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracuí	Contribuintes a Enseada do Bracuí	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	
Seção A - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura		0	3	0	0	1	9		**13**

8.2.1.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas nas Divisões da Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura.

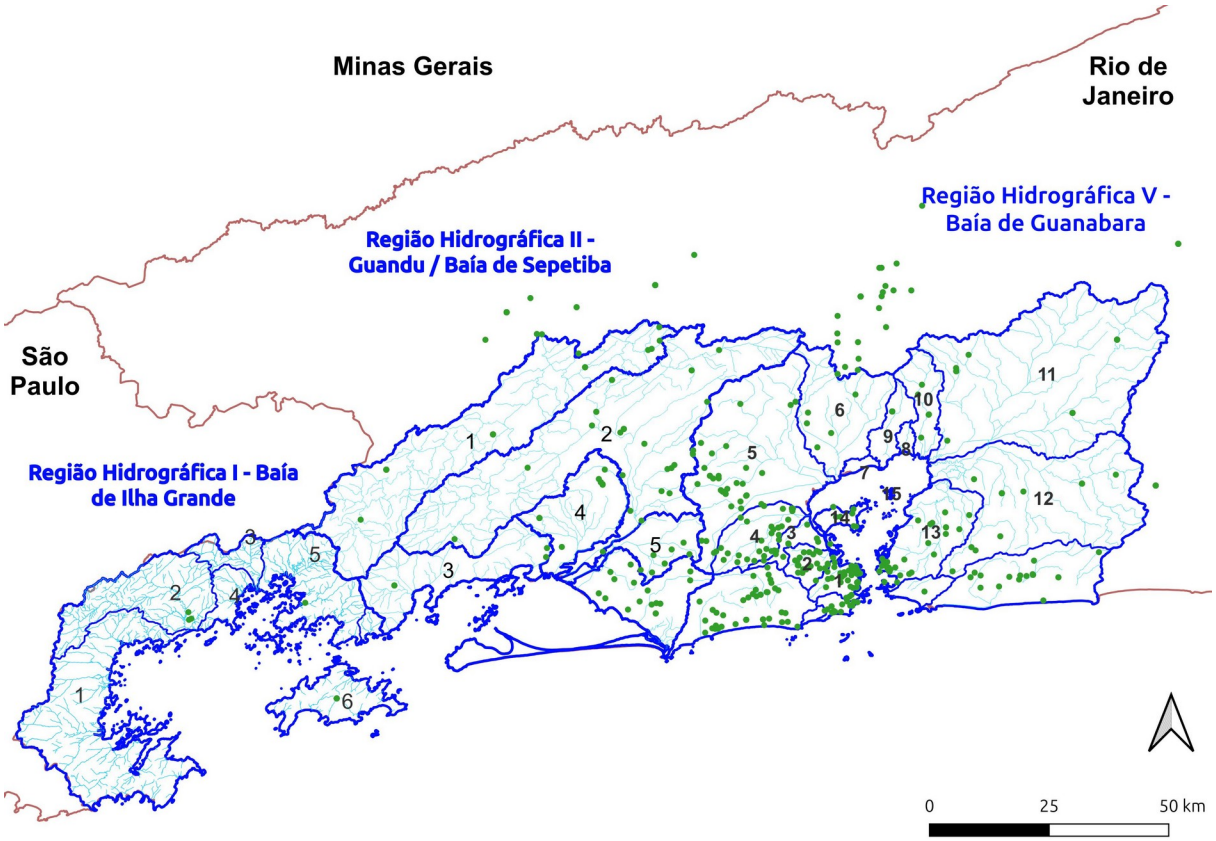


Figura 122. Localização das pessoas jurídicas com atividades potencialmente introdutoras de metais pesados no ambiente da Seção A CNAE - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura, localizadas nas bacias hidrográficas das três regiões hidrográficas.

8.2.1.2. Atividades desenvolvidas em terra – Agricultura e pecuária

Pode constituir fonte pontual e difusa de contaminação do meio.

As atividades agrícolas e pecuárias, além de florestamento e reflorestamento, caracterizam-se como fonte difusa de poluição para as águas costeiras por meio de diferentes tipos de ações:

- erosão das áreas agrícolas;
- uso de nutrientes;

- aplicação de biocidas;
- irrigação;
- estruturas para criação de animais confinadose
- pastoreio por animais (EPA, 1993).

Congrega as atividades de cultivo agrícola por meio de lavouras temporárias e permanentes, abarcando a produção de alimentos, forragem, horticultura e floricultura; produção de sementes e mudas certificadas ou não; coleta de produtos vegetais; extração de madeira em florestas nativas, além do cultivo de espécies florestais para produção de madeira, celulose e proteção e recuperação ambiental (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015d).

Bem como criação e produção animal, entre as quais se incluem a exploração e caça de animais silvestres em seus habitats naturais; produção pecuária contemplando bovinos, outros animais de grande porte, caprinos e ovinos, suínos, aves e animais não especificados anteriormente, bem como o cultivo e criação de organismos geneticamente modificados.

E engloba, ainda, as atividades de apoio à agricultura, pecuária e pós-colheita (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015d).

Nas atividades agrícolas, o uso de corretivos e adubos para o solo, tanto orgânicos quanto inorgânicos, introduz metais pesados no solo, visando atender à necessidade de minerais essenciais das espécies cultivadas.

Situação severamente agravada quando utilizado lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto urbano (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

No caso de biocidas, os metais pesados têm o objetivo de interferir na fisiologia e bioquímica dos organismos a serem controlados.

Como o crescimento populacional intensifica a demanda por alimentos, tende a ampliar o uso de insumos agrícolas. Nesse contexto, o emprego contínuo de corretivos, nutrientes e biocidas para o solo e controle de pragas deverá permanecer como uma fonte significativa de introdução de metais pesados no solo, coleções hídricas e biocenose (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

8.2.1.3. Atividades desenvolvidas no substrato e espelho d'água – Pesca e maricultura

Colocam-se como fonte difusa de contaminação.

Abarca a pesca extrativa de peixes, crustáceos e moluscos, além da coleta de produtos aquáticos; aquicultura para criação e cultivo de moluscos, crustáceos e peixes, incluindo outros produtos do meio aquático, como algas. Inclui a pesca amadora, artesanal e industrial, bem como a aquicultura realizada em águas doces, salobras e salinas (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

As atividades pesqueiras artesanais, industriais e amadoras impactam o meio devido no que respeita à poluição, devido à utilização de embarcações. O impacto e a contribuição que apresentam, inclusive como fonte de metais pesados, serão descritos no tópico 8.2.8.3. Transporte aquaviário.

Bem como devido às redes e petrechos de pesca perdidos e/ou abandonados, geralmente constituídos de polímeros plásticos que podem apresentar, como aditivos, metais pesados. Adicionalmente aos problemas causados pelos equipamentos de pesca perdidos e extraviados, responsáveis pela mortandade de significativas quantidades de peixes, quelônios, aves e mamíferos marinhos devido à pesca fantasma.

As atividades de aquicultura e maricultura, técnica para criação de espécies aquáticas úteis sob algum controle do organismo e ambiente onde é criado (Idyll, 1973), podem ser realizadas em ambientes naturais com águas salinas, salobras ou doces em rios, lagos e represas/açudes.

Costumam causar impactos ambientais negativos decorrentes da produção de efluentes ricos em material particulado e ração alimentar não consumida, além de fezes dos organismos cultivados (Black et al., 2002; Chou et al., 2002; Mendiguchía et al., 2006; Sultana et al., 2022).

Os diferentes tipos de ração para organismos cultivados podem apresentar, nas formulações, além de amidos, proteínas, gorduras, vitaminas e agregados, minerais essenciais e, dentre eles, metais pesados.

E, adicionalmente, a utilização intensiva de desinfetantes, agentes

terapêuticos e produtos veterinários, incluindo quimioterápicos, anestésicos, hormônios e anti-incrustantes, muitos deles contendo metais pesados, resulta em deficiências fisiológicas, agravos e doenças passíveis de atingir a fauna autóctone.

Bem como o escape de organismos, muitas vezes alóctones, podendo impactar a biocenose local e ressaltando alguns dos importantes impactos causados por esse tipo de atividade (Black et al., 2002; Chou et al., 2002; Mendiguchía et al., 2006; Sultana et al., 2022).

8.2.1.4. Resumo dos metais pesados introduzidos por intermédio das principais atividades econômicas ligadas à Seção A

Resumo dos metais pesados introduzidos pelas atividades realizadas na Seção A, a partir de abordagem qualitativa, é apresentado no Quadro 95.

Referências consultadas: (Chou et al., 2002; Dabrowska; Łopata; Osial, 2021; He; Yang; Stoffella, 2005; Jian et al., 2024; Mendiguchía et al., 2006; Nriagu; Pacyna, 1988; Perez et al., 2025; Sultana et al., 2022; Turner, 2017; Zhang et al., 2023).

Quadro 95. Metais pesados aportados no meio por diferentes atividades da Seção A – Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura.

Seção A - Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura														
Atividades e Tipos de uso	Metal pesado Aportado	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco	Causa / fonte	Referência
		As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn		
Área emersa	Agricultura e pecuária		■	■	■	■	■	■			■		
					■							Ração alimentar de aves	Jian et al.,2024
			■		■	■						Corretidos e ferlilizantes de solo	Nriagu; Pacyna, 1988
											■	Fertilizantes	He; Yang; Stoffella, 2005
			■				■					Fertilizantes	Zhang et al., 2023
		■		■				■				Utilização lodo ETE como fertilizante	Nriagu; Pacyna, 1988
Ambiente aquático	Pesca		■	■	■	■					■		
				■	■						■	Decorrente processo de fabricação de matéria-prima utilizada em redes	Dąbrowska et al., 2021
			■	■		■						Fios de redes coletados em duas praias	Turner, 2017
				■	■	■		■			■		
	Maricultura			■	■						■	Excesso de ração	Mendiguchía et al., 2006
				■	■	■		■			■	Ração alimentar	Sultana et al., 2022)
					■			■			■	Atividade em si	Chou et al., 2002
					■				■			Carcinocultura – rações e fertilizantes	Perez et al. – 2025

8.2.2. Seção B - Indústrias Extrativas

Compreende atividades de extração de minerais em estado natural, seja sólido (carvão e outros minérios), líquido (petróleo cru) e gasoso (gás natural), por meio de minas subterrâneas, ao ar livre ou em poços localizados em terra ou no mar (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Contemplam ações complementares para beneficiamento junto à extração, visando melhorar a qualidade do minério e facilitar a comercialização, geralmente alterando as características físico-químicas dos produtos extraídos.

Incluem, ainda, serviços industriais como parte do processo produtivo das atividades acima descritas e, particularmente, na extração de petróleo, contando com atividades especializadas de apoio à exploração mineral tanto em terra como na água (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Apresenta cinco Divisões (de 05 a 09), oito Grupos e 16 Classes totalizando 45 atividades, com algumas delas incidentes na RH I, II e V, listadas no Quadro 96.

Quadro 96. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção B – Indústrias Extrativas. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
B	INDÚSTRIAS EXTRATIVAS			
	07	EXTRAÇÃO DE MINERAIS METÁLICOS		
		07.1	1	Extração de minério de ferro
		07.2	6	Extração de minerais metálicos não-ferrosos
	08	EXTRAÇÃO DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS		
		08.1	1	Extração de pedra, areia e argila
		08.9	4	Extração de outros minerais não-metálicos
	09	ATIVIDADES DE APOIO À EXTRAÇÃO DE MINERAIS		
		09.1	1	Atividades de apoio à extração de petróleo e gás natural
		09.9	1	Atividades de apoio à extração de minerais, exceto petróleo e gás natural

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas na Seção B – Indústrias Extrativas foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 97; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 98; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 99 e Figura 123.

Quadro 97. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção B - Indústrias Extrativas nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas ~~Marítimas~~ na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Aleixo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	
Seção B - Industrias Extrativas		778	41	40	4	111	0	74	167	119	2	70	140	5	8	61	**1.620**

Quadro 98. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção B - Indústrias Extrativas nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	
Seção B - Industrias Extrativas		34	105	60	302	**501**

Quadro 99. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção B - Indústrias Extrativas nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	**INEA**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracui	Contribuintes a Enseada do Bracui	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	
Seção B - Industrias Extrativas		2	1	0	3	8	27		**41**

8.2.2.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas nas Divisões da Seção B - Indústrias Extrativas

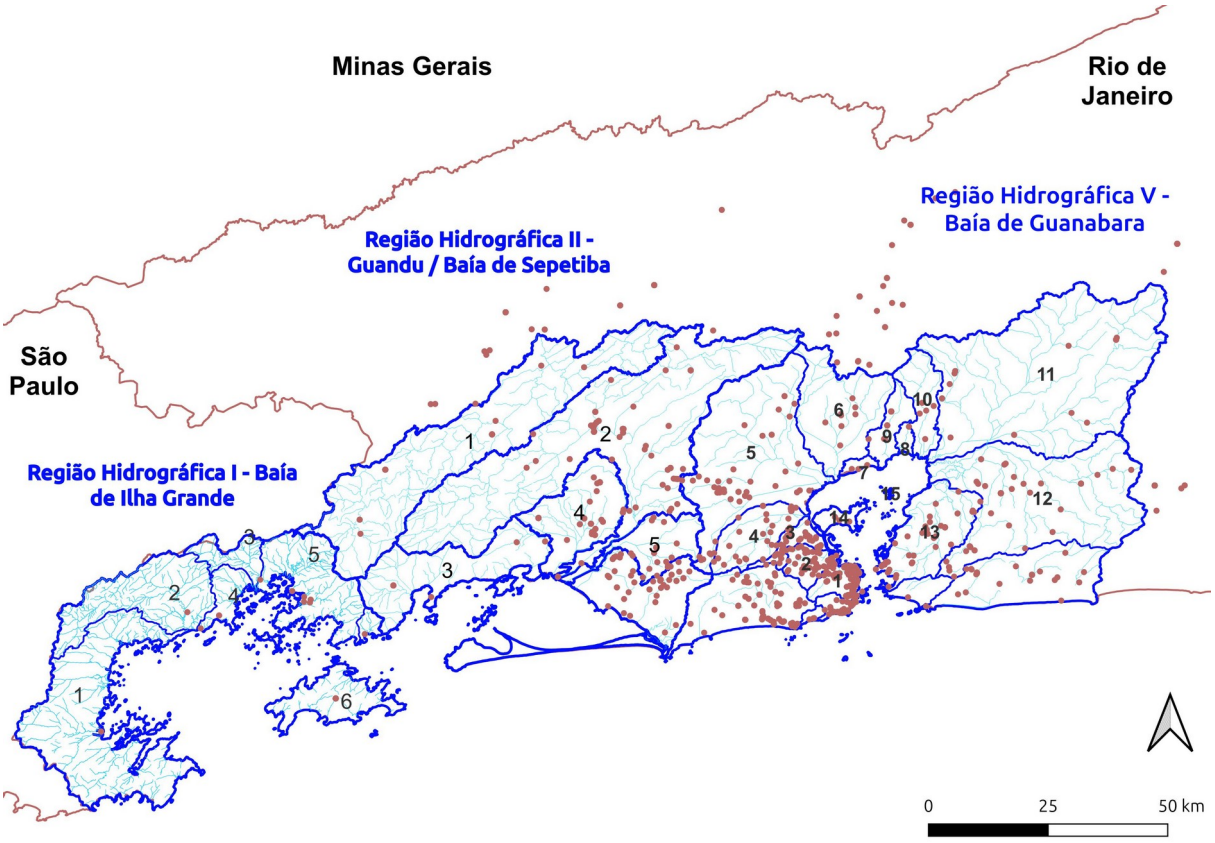


Figura 123. Pessoas jurídicas ativas e inativas da Seção B – Indústrias Extrativas, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

8.2.2.2. Atividades desenvolvidas em terra/área emersa

Caracteriza-se como foco pontual de poluição devido à atividade de lavra e processamento do minério geralmente ocorrer em locais específicos e restritos. Mas a contribuição com poluentes tem papel ampliado pela drenagem das águas pluviais na área de extração. Além do lançamento de efluentes relacionados ao processo produtivo de purificação ou extração nos corpos d'água locais (Borgens, 2019).

Atividades minerárias voltadas para a lavra de metais, mas também

agregados como areia, cascalho e rochas, destacam-se pela introdução de grande quantidade de poluentes no solo e água, como constatado por levantamento realizado pela EPA, no início dos anos 2000. Nesse estudo, os empreendimentos identificados no território dos EUA eram responsáveis por cerca de 90% das contribuições de metais pesados no meio (Borgens, 2019).

Os principais tipos de atividades minerárias referem-se à exploração de carvão mineral, petróleo e gás natural; minerais metálicos como ferro; minerais metálicos não ferrosos: alumínio, estanho, manganês, cobre, chumbo, zinco e níquel, principalmente; metais preciosos: prata, ouro e platina; pedra, areia e argila; pedras, ou gemas, preciosas e semipreciosas; outros tipos de minerais não metálicos para produção de adubos, fertilizantes e produtos químicos, além de materiais abrasivos, quartzo, betumes naturais, amianto, turfa, talco, grafite natural e sal-gema, além de minerais radioativos (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Abarca, ainda, as atividades de apoio à extração de minerais, com exceção de petróleo e gás natural.

8.2.2.3. Atividades desenvolvidas no substrato e espelho d'água/ambiente aquático

Mineração marinha refere-se e está direcionada à extração de minerais não combustíveis e metais do mar. Já a extração de material no fundo da água do mar ou das regiões situadas entre a terra e o mar recebe a denominação apenas de mineração (Löf; Ericsson; Löf, 2022).

Caracteriza-se pela exploração de sedimento e areia para aterro e recomposição de praias, extração de sal marinho, algas calcáreas, incluindo as atividades de apoio à extração e produção, com exceção ao petróleo e gás natural, incluídos em outra Classe CNAE (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

A mineração marinha está afeita à localização e tipo de atividade minerária a ser realizada, que, por sua vez, determinará a tecnologia utilizada, diferenciada em três principais tipos:

- mineração mar afora/offshore – próximo à costa e em profundidades que não excedam 500 m;
- mineração do leito marinho em grandes profundidades – por meio do uso de métodos não convencionais, geralmente em profundidades superiores a 1.000 m, muitas vezes fora do Mar Territorial e com suas características definidas de acordo com o recurso mineral alvo: nódulos polimetálicos ferro-magnesíferos, sulfetos polimetálicos, sulfetos concentrados no fundo e crostas ferro-magnesíferas ricas em cobalto, na dependência da localização das jazidas, se no assoalho das bacias ou cordilheira oceânica, fontes hidrotermais ou elevações e montes submarinos; além da
- extração de minerais da água do mar – como o cloreto de sódio, desde a antiguidade e, mais recentemente, água doce para consumo humano. Além de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), lítio (Li), estrôncio (Sr), bromo (Br), boro (B) e urânio (U) podem ser extraídos, desde que solucionado o problema do grande volume de salmoura gerada no processo (Löf; Ericsson; Löf, 2022).

A mineração marinha, no contexto apresentado, caracteriza-se como atividade econômica fundamentada na pesquisa, exploração, extração e beneficiamento de recursos minerais e minérios (SEENEMAR/CEDEMAR, 2025).

A dragagem de sedimento para aproveitamento comercial em ambientes contaminados pode ressuspender, remobilizar e disponibilizar poluentes, inclusive metais pesados, que se encontravam imobilizados e inertes na região.

8.2.2.4. Síntese dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção B – Indústrias Extrativas

Síntese dos metais pesados introduzidos pelas atividades realizadas na Seção B é listada no Quadro 100. Referências consultadas: (Pan; Wang, 2012; Borgens, 2019; Gokcekush et al., 2007).

Quadro 100. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção B – Indústrias Extrativas.

Seção B – Indústrias Extrativas													
Atividades e Tipos de uso / **Metal pesado Introduzido**		**Arsênio**	**Cádmio**	**Chumbo**	**Cobre**	**Cromo**	**Mercúrio**	**Manganês**	**Níquel**	**Estanho**	**Zinco**	**Causa / fonte**	**Referência**
		As	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Sn**	**Zn**		
Área emersa	Mineração	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Atividades minerárias e fundição	Pan; Wang, 2012
				■	■						■	Drenagem superficial de lavras	Borgens, 2019
					■			■			■	Drenagem ácida de minas	Gokcekush et al., 2007
				■	■			■			■	Atividades minerárias	
	Fundição	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Ambiente aquático	Extração de areia	Na dependência dos metais pesados existentes na região e background											

8.2.3. Seção C – Indústrias de Transformação

Reúne as atividades associadas à transformação física, química e biológica de materiais, substâncias e componentes da natureza para obtenção de materiais, substâncias e componentes a serem utilizados como insumos nas atividades agrícolas, florestais, de mineração e pesqueiras, além de ampla gama de produtos decorrentes de atividades industriais voltadas para o atendimento das necessidades humanas (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Desenvolvem-se, geralmente, em plantas industriais que variam em complexidade e tamanho. Abrange desde a produção manual e artesanal, como ateliê de costura, até a produção em escala industrial, quando máquinas e equipamentos movidos por energia motriz para manipulação de substâncias e materiais fazem parte do processo. Inclui, também, atividades para a renovação e reconstituição de produtos, tal qual, por exemplo, a recauchutagem de pneus.

As substâncias e produtos gerados podem estar prontos para o consumo ou semiacabados, para serem utilizados como matéria-prima de outro estabelecimento industrial de transformação. Como, por exemplo, a celulose produzida e utilizada como matéria-prima para a produção de papel que, novamente matéria-prima, possibilitará a produção de artefatos diversos de papel (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Adicionalmente, a produção, montagem, instalação, serviços de reparação e manutenção de máquinas e equipamentos industriais, bem como de componentes de produtos industriais, tanto por ação própria como de terceiros, também é considerada atividade industrial.

Contemplando, ainda, a recuperação de desperdícios e resíduos transformados, por meio de processos físico-químicos, em matérias-primas secundárias, cujas atividades são realizadas em outras plantas industriais (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Apresenta 24 Divisões (de 10 a 33), 102 Grupos e 258 Classes totalizando 410 atividades, Quadro 101, com diversas delas presentes nas RHs V, II e I.

Quadro 101. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção C – Indústrias de Transformação. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015d).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
C	INDÚSTRIAS DE TRANSFORMAÇÃO			
	10			FABRICAÇÃO DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS
	11			FABRICAÇÃO DE BEBIDAS
	12			FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DO FUMO
	13			FABRICAÇÃO DE PRODUTOS TÊXTEIS
	14			CONFECÇÃO DE ARTIGOS DO VESTUÁRIO E ACESSÓRIOS
	15			PREPARAÇÃO DE COUROS E FABRICAÇÃO DE ARTEFATOS DE COURO, ARTIGOS PARA VIAGEM E CALÇADOS
	16			FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MADEIRA
	17			FABRICAÇÃO DE CELULOSE, PAPEL E PRODUTOS DE PAPEL
	18			IMPRESSÃO E REPRODUÇÃO DE GRAVAÇÕES
	19			FABRICAÇÃO DE COQUE, DE PRODUTOS DERIVADOS DO PETRÓLEO E DE BIOCOMBUSTÍVEIS
	20			FABRICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS
	21			FABRICAÇÃO DE PRODUTOS FARMOQUÍMICOS E FARMACÊUTICOS
	22			FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE BORRACHA E DE MATERIAL PLÁSTICO
	23			FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE MINERAIS NÃO-METÁLICOS
	24			METALURGIA
	25			FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DE METAL, EXCETO MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS
	26			FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE INFORMÁTICA, PRODUTOS ELETRÔNICOS E ÓPTICOS
	27			FABRICAÇÃO DE MÁQUINAS, APARELHOS E MATERIAIS ELÉTRICOS
	28			FABRICAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS
	29			FABRICAÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES, REBOQUES E CARROCERIAS
	30			FABRICAÇÃO DE OUTROS EQUIPAMENTOS DE TRANSPORTE, EXCETO VEÍCULOS AUTOMOTORES
	31			FABRICAÇÃO DE MÓVEIS
	32			FABRICAÇÃO DE PRODUTOS DIVERSOS
	33			MANUTENÇÃO, REPARAÇÃO E INSTALAÇÃO DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas na Seção C – Indústria de Transformação foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 102; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 103; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 104 e Figura 124.

Quadro 102. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção C – Indústrias de Transformação nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas Marítimas na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Aleixo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção C - Indústrias de Transformação		8.692	5.614	5.558	880	10.679	12	8.959	6.417	1.634	8	419	11.979	162	1.325	479	**62.817**

Quadro 103. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção C – Indústrias de Transformação nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Seção C - Indústrias de Transformação		241	1.883	3.639	829	**6.592**

Quadro 104. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção C – Indústrias de Transformação nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	INEA	1	2	3	4	5	6	7	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracui	Contribuintes a Enseada do Bracui	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Seção C - Indústrias de Transformação		216	126	47	108	644	316		**1.457**

8.2.3.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas nas Divisões da Seção C – Indústrias de Transformação

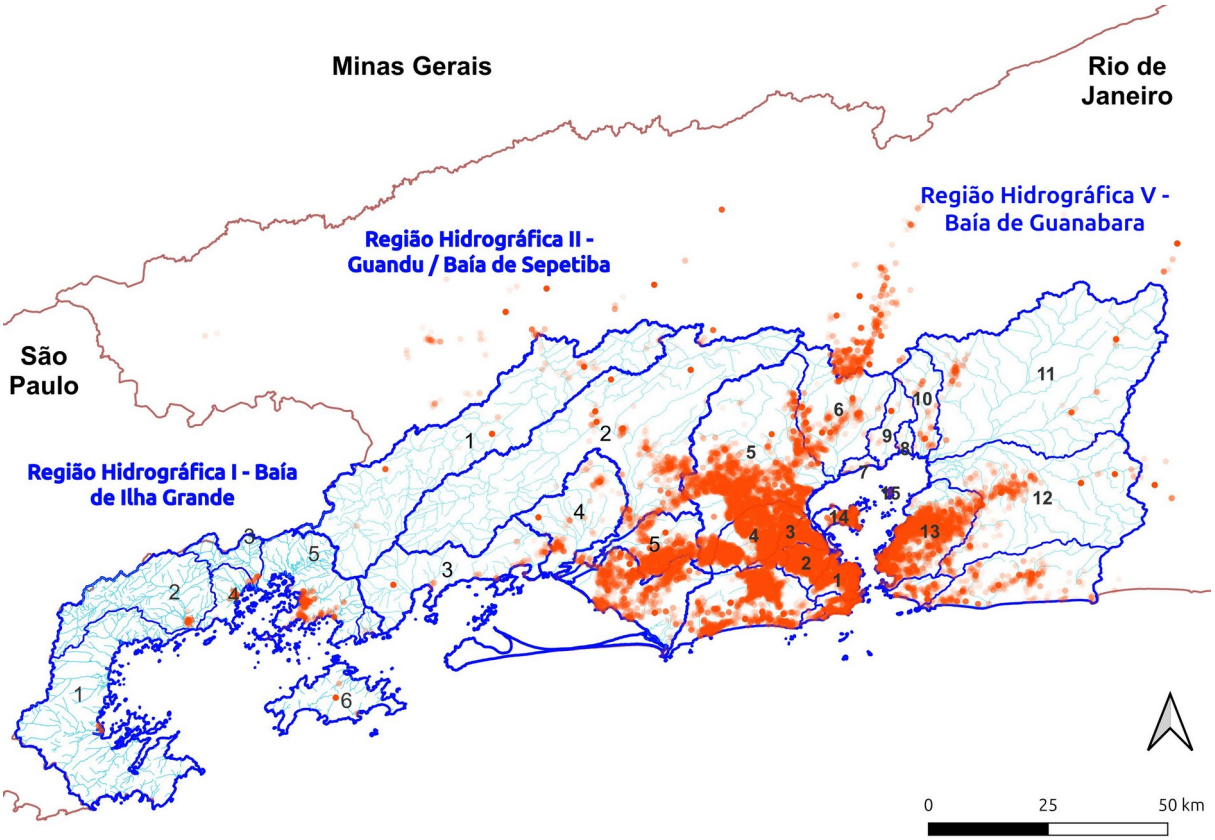


Figura 124. Pessoas jurídicas ativas e inativas da Seção C – Indústrias de Transformação, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

8.2.3.2. Atividades desenvolvidas em terra, área emersa

Atividades industriais são consideradas as principais contaminadoras do meio, graças à grande diversidade de substâncias tóxicas inerente à realização das respectivas atividades. Dentre elas, destacam-se os metais pesados (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

Metais pesados gerados em áreas industriais decorrem dos objetivos que a planta apresenta e, consequentemente, dos processos produtivos, matéria-prima e insumos utilizados, perdas decorrentes de acidentes e imperícia durante o manuseio, além de extravasamentos acidentais. Ademais, estão presentes e fazem parte da constituição química de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e

efluentes industriais gerados (Dama, 2021; Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

Uma vez introduzidos na atmosfera, precipitam-se no solo, o reservatório subsequente desses poluentes. Geralmente concentrados nos primeiros 20 cm, contaminam esse horizonte devido à reduzida mobilidade que os metais apresentam na superfície do solo (Dama, 2021).

O solo configura-se como o maior receptor de metais pesados gerados pelos diversos tipos de atividades industriais. As principais fontes, nos países desenvolvidos, relacionam-se à deposição de cinzas decorrentes da combustão de carvão ou óleo por plantas termoelétricas, além de resíduos sólidos dos diferentes tipos de atividades industriais, comerciais e de serviços, além de mineração e processamento de minérios, entre outras (Tchounwou et al., 2012).

No que se refere à água, sua principal função se dá em sistemas de resfriamento industrial, durante os quais pode ser contaminada com metais pesados (Nriagu; Pacyna, 1988).

Com relação aos efluentes de esgotos industriais, a constituição pode variar de orgânica a mineral, contando, geralmente, com maior concentração de sólidos dissolvidos do que os esgotos domésticos.

O tipo de efluente está diretamente relacionado ao processo industrial considerado e pode apresentar elevada carga orgânica, como nas indústrias de alimentos, matadouros e de produtos agroindustriais.

Ou, de outra forma, costuma ser constituído por pequena carga orgânica e elevada concentração de substâncias químicas, como nos casos das indústrias de metais, cerâmicas, mecânicas, tintas e pigmentos, químicas, farmacêuticas, dentre diversas outras.

Em todas as atividades industriais, somam-se aos efluentes dos processos produtivos pequenas frações de esgoto sanitário dos refeitórios e banheiros de colaboradores, cujas características são semelhantes aos esgotos domésticos (Brasil, 2019).

A título de síntese, os principais metais pesados utilizados e gerados em alguns processos industriais são apresentados nos Quadros 105 e 106.

Quadro 105. Possíveis contribuições de metais pesados por diferentes tipos de atividades industriais. Fonte: adaptado de Alloway (2012), citado por Dama (2021).

Atividade industrial com processo produtivo voltado para a produção	**Arsênio**	**Cádmio**	**Chumbo**	**Cobre**	**Cromo**	**Mercúrio**	**Manganês**	**Níquel**	**Estanho**	**Zinco**
	As	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Sn**	**Zn**
Ácido fosfórico	■	■	■	■						
Ácido nítrico	■			■	■			■		■
Ácido sulfúrico	■		■	■				■		■
Aço	■		■		■		■			■
Catalisadores								■		■
Cerâmica		■	■	■	■	■		■		■
Cloro-álcali (Cl_2 e NaOH)	■	■	■	■		■			■	
Componentes elétricos			■	■	■	■			■	■
Gráfica e impressão		■	■		■					■
Manutenção de baterias		■	■			■		■		■
Pesticidas	■		■		■		■			■
Pigmentos e tintas	■	■	■		■	■				■

Quadro 106. Fontes de metais pesados por alguns processos e atividades industriais. Fonte: adaptado de Navratil et al. (2005), citados por Dama (2021).

Atividade industrial com processo produtivo voltado para a produção	**Arsênio**	**Cádmio**	**Chumbo**	**Cobre**	**Cromo**	**Mercúrio**	**Manganês**	**Níquel**	**Estanho**	**Zinco**
	As	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Sn**	**Zn**
Tintas e acabamentos de paredes	■	■	■	■	■	■				■
Processamento de óleo crú	■		■		■					■
Produção de ferro e aço	■	■	■	■	■	■				■
Produção de metais não ferrosos	■	■	■	■	■	■				■
Indústria plástica		■	■		■					■
Baterias e acumuladores	■	■	■	■	■	■				■
Proteção de plantas e lavouras	■		■		■	■				■

8.2.3.3. Síntese dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades da Seção C – Indústria de Transformação

Metais pesados aportados por alguns tipos de atividades econômicas ligadas à Seção C – Indústria de Transformação, incluindo os metais pesados introduzidos, Quadro 107. Referências consultadas: (Zhang et al., 2023; Espinoza Guillen et al., 2022; Alamgir et al., 2023; Ranjbar Jafarabadi et al., 2017; Zhang et al., 2015; Tiwari et al., 2011).

Quadro 107. Metais pesados introduzidos por algumas atividades da Seção C – Indústrias de transformação.

Seção C – Indústrias de Transformação													
Atividades e Tipos de uso		Metal pesado Introduzido	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco	Causa / fonte	Referência
			As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn		
Área emersa	Atividades industriais													
													Parque industrial, Haikou, Provincia de Hainan,da Ilha Hainan,	Zhang et al., 2023
													Indústrias na Região Metropolitana de LIma e Callao, Peru	Espinoza Guillen et al., 2022
													Porto Carashi, Paquistão	Alamgir et al., 2023
	Refinaria de petróleo		6	7	8	4	5		2	1		3	Ilhas situadas no Golfo Pérsico	Ranjbar Jafarabadi et al., 2017
													Lago Pontchartrain, Louisiana, EUA	Zhang et al., 2015
					3	2	1			4			Mathura Oil Refinere, Mathura, Índia	Tiwari et al., 2011
	Montagem de equipamentos													
	Manutenção de equipamentos													
	Reparação de equipamentos													

Observações:
1 – os numerais em algumas células representam a magnitude da concentração e contaminação do metal pesado, de acordo com o autor citado;
2 - as informações sem referências serão complementadas e apresentadas na versão final deste documento.

8.2.4. Seção D – Eletricidade e Gás

Contempla a geração de energia elétrica em alta tensão, transmissão desde as usinas de geração até os centros de distribuição e, em seguida, alimentação dos consumidores finais. Considera, também, a produção de gás e combustíveis gasosos, processamento de gás natural e distribuição por redes urbanas, incluindo vapor, água quente e ar-condicionado para grandes consumidores (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015d)

Apresenta uma Divisão (35), três Grupos, seis Classes e sete Subclasses, com algumas delas presentes na RH I, II e V, Quadro 108.

Quadro 108. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção D – Eletricidade e Gás. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
D	ELETRICIDADE E GÁS			
	35	ELETRICIDADE, GÁS E OUTRAS UTILIDADES		
		35.1	3	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica
		35.2	1	Produção e distribuição de combustíveis gasosos por redes urbanas

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas na Seção D – Eletricidade e Gás foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 109; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 110; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 111 e Figura 125.

Quadro 109. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na D – Eletricidade e Gás nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	**INEA**	**88**	**85**	**77**	**72**	**71**	**69**	**67**	**66**	**63**	**62**	**58**	**55**	**54**	**53**	**46**	
	Atlas RH V	**2**	**7 e 6**		**8**	**9**	**18**	**19**	**12**	**17**	**14**	**13**	**10**	**15**	**11**	**16**	
	Este estudo	**1**	**2**	**3**	**14**	**4**	**15**	**13**	**7**	**12**	**8**	**9**	**5**	**10**	**6**	**11**	
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas Mantimas na Baia	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Irirí	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Aleixo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Seção D – Eletricidade e Gás		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**

Quadro 110. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na D – Eletricidade e Gás nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	
Seção D – Eletricidade e Gás		0	0	0	0	**0**

Quadro 111. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção D – Eletricidade e Gás nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	**INEA**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracuí	Contribuintes a Enseada do Bracuí	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	
Seção D – Eletricidade e Gás		9	0	0	0	0	0		**9**

8.2.4.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas na Divisão 35 da Seção E – Eletricidade e Gás

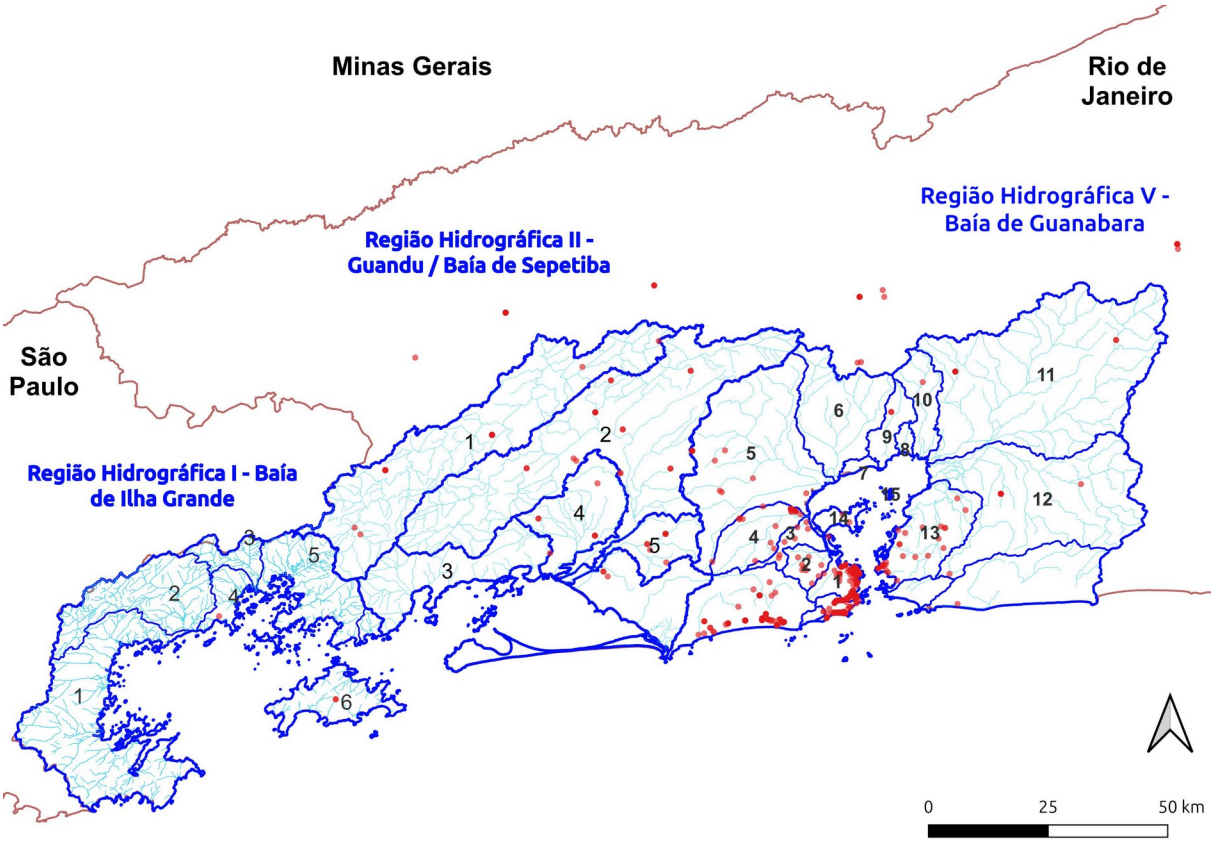


Figura 125. Pessoas jurídicas ativas e inativas da Seção D – Eletricidade e Gás, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

A produção de energia elétrica nas regiões consideradas se dá por meio de algumas termoelétricas alimentadas a gás nas RH II – Guandu e V – Baía de Guanabara e, devido à sua queima, pode introduzir metais pesados no meio. Guarda relação, portanto, com as demais atividades em diferentes Seções que utilizam gás e óleo para transporte, combustão e alimentação de processos térmicos.

Destaca-se, na RH I – Baía de Ilha Grande, a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA) em Angra dos Reis, que, após análise da documentação afeita ao processo de licenciamento ambiental e respectivo Estudo de Impacto Ambiental – EIA, tem em conta as informações aportadas pelas Referências

consultadas, não introduzindo metais pesados nos ambientes da referida RH.

8.2.4.2. Síntese dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção D - Eletricidade e Gás

Alguns tipos de atividades na Seção D – Eletricidade e Gás, incluindo metais pesados aportados, Quadro 112.

Referências consultadas (Alonso-Hernández et al., 2011; Liu et al., 2021; Wang et al., 2010; AL-Heety; Hasan; Al-Heety, 2021; Idowu et al., 2020).

Quadro 112. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção D – Eletricidade e Gás

Seção D – Eletricidades, Gás e Outras Utilidades														
Atividades e Tipos de uso / Metal pesado Aportado		Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco	Causa / fonte	Referência
		As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn		
Área emersa	Termoelétrica - petróleo								■		■	Cinzas da chaminé de termoelétrica em Cienfuegos, Cuba	Alonso-Hernández et al., 2011
			■	■	■	■	■				■	Amostras de sedimento da Baía Kompong Som sob influência de refinaria e termoelétrica para geração de energia	Liu et al., 2021
		■	■						■			Ainda que as concentrações mensuradas de uma planta termonuclear não ultrapassem os parâmetros estabelecidos por Taiwan, a contribuição não deve ser desconsiderada	Wang et al., 2010
			■	■	■	■			■		■	Cincoentta e um geradores operando na cidade de Ramadi, Iraque, contrbuem para que as concentrações de metais pesados no solo excedam referências internacionais	AL-Heety et al., 2021
		■	■	■		■	■				■	Amostras de água e sedimento nas proximidades da termoelétrica em Egbim, Lagos, Nigéria, demonstrou profundo impacto do Cr no solo e água da região além de bioacumulação em siris, camarões e peixes	Idowu et al., 2020

8.2.5. Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação

Inclui as atividades de captação, tratamento e distribuição de água para abastecimento humano por meio de rede permanente de tubulações e dutos, consideradas instalações de infraestrutura, ou por outras formas de distribuição até o usuário final (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015c).

Abarca o esgotamento sanitário desde a coleta e transporte de esgoto doméstico e industrial, águas pluviais por meio de redes de coletores, tanques e outros meios de transporte, incluindo veículos, tanques para esgotamento; a gestão de redes de esgotos domésticos, industriais e de águas pluviais; a operação das estações de tratamento de esgoto (ETE), além do tratamento por meio de processos físicos, químicos e biológicos, incluindo diluição, separação, filtragem, sedimentação e descarte no corpo receptor (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015c).

Contempla, ainda, o esvaziamento e limpeza de tanques de infiltração e fossas sépticas, sumidouros, poços e caixas de esgoto, galerias de águas pluviais e tubulações, bem como a retirada de lama e limpeza de sanitários químicos.

E, também, atividades afeitas à gestão de resíduos de todos os tipos de geradores, sejam não perigosos, como o doméstico, ou perigosos, como industrial, hospitalar e de laboratórios de análises clínicas. Bem como baterias e pilhas, incluindo óleos lubrificantes utilizados, recolhidos em postos de combustíveis, dentre outros.

Tanto o esgoto como os efluentes e resíduos podem conter substâncias ou formulações explosivas, oxidantes, inflamáveis, tóxicas, irritantes, corrosivas, infecciosas ou cancerígenas que podem ser prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015c).

Compreende, ainda, o tratamento e disposição de resíduos não perigosos e perigosos, despejo de resíduos em locais de disposição controlada ou vazadouros, além da incineração ou combustão de resíduos, incluindo a geração de qualquer tipo de energia pela incineração desse tipo de subproduto (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Considera, no que respeita à recuperação de materiais descartados como metais ferrosos e não ferrosos, material plástico, borracha, papel, papelão e compostos orgânicos, a separação e classificação de materiais misturados em esteiras de lixo ou outros meios para segregação.

Também contempla processos de recuperação de materiais, a partir da separação e transformação de sucatas e resíduos em matérias-primas secundárias mediante a compactação, tratamentos químicos e físicos, dentre outros. Assegura, portanto, possibilidade de reutilização como matéria-prima de processos industriais quando são transformados em outros tipos de materiais (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015c).

E, ainda, a descontaminação e outros tipos de serviços relacionados à gestão de resíduos mediante processos mecânicos, químicos ou biológicos, tanto no solo como em águas subterrâneas contaminadas; descontaminação de usinas e plantas industriais, inclusive nucleares; limpeza de águas superficiais pela coleta de poluentes ou a aplicação de produtos químicos quando em situações de contaminação acidental; remediação do solo, águas superficiais, mares e oceano, incluindo regiões costeiras, por ocasião de vazamentos de óleo.

Abarcando a atenuação da contaminação por amianto, tintas e outros materiais perigosos, incluindo as atividades especializadas necessárias para controle de outros tipos de contaminação (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015d).

A Seção E apresenta quatro Divisões (36 a 39), seis Grupos e 11 Classes totalizando 14 Subclasses, ou tipos de atividades, com diversas delas presentes na RH I, II e V, Quadro 113. Dentre elas, diversas atividades atuam com metais pesados presentes em efluentes ou resíduos sólidos, na dependência dos respectivos processos produtivos dos geradores.

Quadro 113. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
E	ÁGUA, ESGOTO, ATIVIDADES DE GESTÃO DE RESÍDUOS E DESCONTAMINAÇÃO			
	37	ESGOTO E ATIVIDADES RELACIONADAS		
		37.0	2	Esgoto e atividades relacionadas
	38	COLETA, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS; RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS		
		38.1	2	Coleta de resíduos
		38.2	2	Tratamento e disposição de resíduos
		38.3	3	Recuperação de materiais
	39	DESCONTAMINAÇÃO E OUTROS SERVIÇOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS		
		39.0	1	Descontaminação e outros serviços de gestão de resíduos

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas na Seção E foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 114; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 115; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 116 e Figura 126.

Quadro 114. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas ~~Marítimas~~ na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Alexo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	
Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação		569	398	369	62	891	4	637	416	166	0	90	1.196	11	109	48	**4.966**

Quadro 115. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	
Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação		20	229	308	97	**654**

Quadro 116. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	**INEA**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracui	Contribuintes a Enseada do Bracui	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	
Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação		2	8	6	4	44	31		**95**

8.2.5.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas nas Divisões da Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação

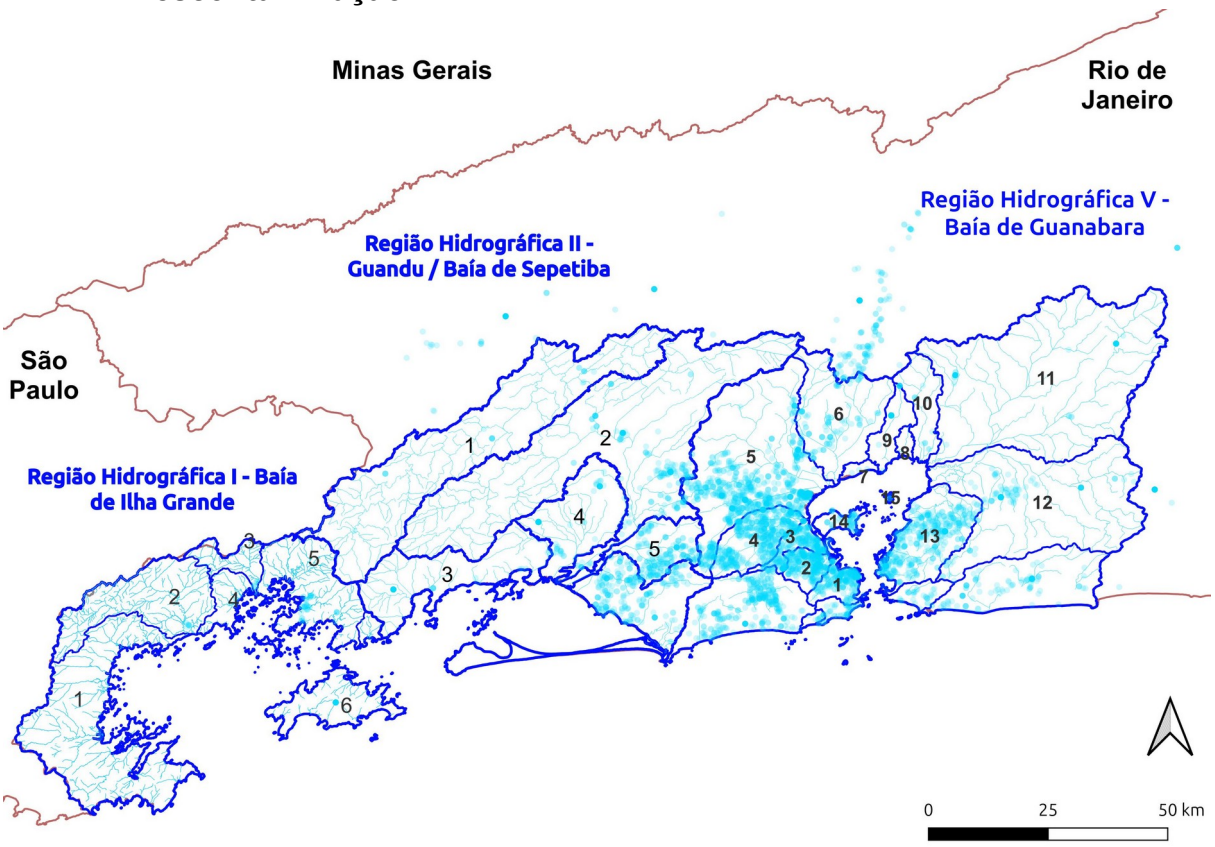


Figura 126. Pessoas jurídicas nativas e inativas na Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

As Divisões e Grupos citados reúnem-se dentre as atividades convencionadas como saneamento básico.

A Lei 11.445, de 05/01/2007, no Art. 3.º, atualizada pelo marco legal do saneamento básico, Lei 14.026, de 15/07/20, estabelece que o saneamento básico é constituído por quatro tipos de serviços públicos:

a) **abastecimento e distribuição de água;**
b) **esgotamento sanitário;**
c) **limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;**

d) **drenagem e manejo das águas pluviais urbanas** (Brasil, 2007, 2020).

8.2.5.2. Serviço público de abastecimento e distribuição de água

O serviço público de abastecimento e distribuição de água abrange diversas etapas e diferentes atividades. Tem início com a captação, reservação, adução e tratamento de água bruta. Bem como adução, reservação e distribuição de água tratada, incluindo a ligação predial e eventuais instrumentos de medição (Brasil, 2019).

A componente elementar do serviço de abastecimento e distribuição de água é constituída por conjunto de infraestruturas, obras civis, materiais e equipamentos instalados desde a zona de captação de água bruta até o fornecimento coletivo, por meio da rede de distribuição e ligações de água tratada e potável, para os domicílios e consumidores (Brasil, 2019).

Os mananciais, reservas hídricas ou fontes utilizadas podem ser superficiais, subterrâneas ou de origem meteórica/atmosférica. Devem, necessariamente, apresentar condições sanitárias adequadas às estipuladas para consumo humano (Brasil, 2019).

Normalmente, não acusam a presença de substâncias químicas inorgânicas e, particularmente, metais pesados em concentrações perceptíveis e passíveis de oferecer risco à saúde dos seres vivos e ao ambiente.

A contaminação por produtos ou substâncias químicas pode ocorrer em algumas situações, muito mais raras, geralmente denunciadas pela alteração do gosto, odor e aparência, que desestimulam o consumo por parte do usuário (WHO, 2022).

De outra maneira, os principais problemas de saúde relacionados à ingesta de água decorrem, principalmente, da contaminação microbiana por bactérias, vírus, protozoários ou outros microorganismos, passíveis de serem controlados por meio da cloração e filtragem (WHO, 2022).

O material utilizado na canalização, como tubos, conexões, acessórios e revestimentos, pode apresentar elevadas concentrações de metais pesados, como, por exemplo, Pb, Cu e Cr provenientes das tubulações de aço galvanizado. E podem

contaminar a água potável, acarretando riscos à saúde humana. Mas a contribuição para o meio pode ser considerada não significativa a despeito da extensão, constituição química – inclusive Pb – e idade da tubulação enterrada nas áreas urbanas (Brandhuber, 2018; Gao et al., 2019; Hayes; Skubala, 2009; Lytle; Schock, 2008; MS, 2006; WHO, 2011, 2022).

8.2.5.3. Serviço público de esgotamento sanitário

O serviço público de esgotamento sanitário é constituído por, pelo menos, uma das atividades a seguir: coleta, incluída ligação predial, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos sanitários e dos lodos originários da operação de unidades de tratamento, coletivas ou individuais, incluídas fossas sépticas, de forma ambientalmente adequada. A disposição final pode ocorrer em terra ou em corpos d'água doce, salobra e salina, como no caso da região costeira (Brasil, 2020).

O esgotamento sanitário recebe efluentes domésticos e industriais, de acordo com as características da área atendida e fontes (Brasil, 2019).

Efluente, ou esgoto, doméstico é formado pelas águas cinzas e águas negras produzidas por residências, estabelecimentos comerciais e de serviços, empresas e instituições situadas em áreas urbanas (Brasil, 2019).

Águas cinzas são provenientes de banhos, pias do banheiro e da cozinha, tanques, além de efluentes de máquinas de lavar roupas, louças, além da lavagem dos pisos e drenagem dos imóveis (Brasil, 2019).

Águas negras são provenientes das instalações sanitárias, contendo fezes e urina (Brasil, 2019).

O esgoto doméstico é constituído por aproximadamente 99,9% de água doce. A adição de substâncias produzidas pelas fontes não altera a densidade do efluente, similar à da água potável.

Os constituintes do esgoto são, genericamente, distinguidos em biodegradáveis, como fezes e urina, material orgânico (detergente, biocidas, gorduras e óleos), microorganismos (bactérias patogênicas e vírus), nutrientes, substâncias químicas como ácidos e bases, além de metais pesados cujas fontes podem provir de amálgama dentário, detergentes, inseticidas, tintas utilizadas por

artistas, além de metais de tubos e torneiras, para citar as mais importantes (Henze et al., 2002, citados por Bleninger, 2007; Brasil, 2019).

Esgoto doméstico pode, ainda, conter efluentes industriais gerados por empreendimentos situados nas áreas urbanas, adicionalmente à água residual.

Adicionalmente, efluentes gerados em áreas urbanas podem ser constituídos por águas oriundas do vazamento e/ou infiltração da chuva e esgoto para o subsolo devido a defeito nas tubulações, juntas, conexões, poços de visita e outros componentes. Esse tipo de efluente recebe a denominação de água de infiltração ou água residual (Brasil, 2019).

Para os sistemas aquáticos costeiros, a maior fonte de metais-traços como As, Cr, Cu, Mn e Ni são os efluentes domésticos. A disposição de lodo de plantas de tratamento de esgoto, por sua vez, costuma apresentar elevada concentração de As, Mn e Pb (Nriagu; Pacyna, 1988).

As principais fontes de metais pesados em efluentes residenciais, ou domésticos, foram identificadas por Sörme e Lagerkvis (2002) em estudo para caracterizar os efluentes e água de drenagem para identificação das fontes, Quadro 117.

Quadro 117. Fontes de metais pesados em efluentes residenciais em Estocolmo, em 1999, adaptado de (Sörme; Lagerkvist, 2002).

Agente	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Embalagens de alimento	■	■	■	■	■	■	■
Amálgama dentário				■			
Detergentes e sabão em pó	■	■	■	■	■	■	■
Tintas	■						
Tubulações e torneiras			■				■
Água potável	■	■	■	■	■	■	■

Observação: quando não assinalado com fundo na cor laranja, significa que a contribuição é muito pequena frente a outros tipos de atividades

Complementarmente, os poluentes podem estar dissolvidos ou suspensos nos efluentes e águas, característica distintiva para definição do tipo de tratamento ou dispersão a ser utilizado. Cobre, por exemplo, pode apresentar cerca de 50% da sua quantidade adsorvida a partículas, na forma não dissolvida; a amônia, por sua vez, apresenta-se 100% dissolvida.

Portanto, as propriedades químicas de cada poluente devem ser consideradas na definição do tipo de tratamento a ser adotado para efluentes urbanos (Henze et al., 2002, citados por Bleninger, 2007).

Efluentes comerciais, por sua vez, distinguiram-se por apresentar água decorrente da lavagem de veículos, oficinas mecânicas e de pintura; clínicas de dentistas, hospitais e farmácias; metais de tubulações e torneiras, além da água da chuva utilizada para reúso que já carreava metais pesados graças às fontes daquele efluente, cada qual com suas respectivas contribuições em termos de metais pesados, Quadro 118.

Já os efluentes industriais podem apresentar todos os metais pesados introduzidos regularmente nos corpos receptores. Não costumam apresentar diferenças sazonais relevantes ao considerar as concentrações médias introduzidas no meio. A não ser em ocasiões episódicas associadas a acidentes ou lançamento proposital (Hope; Pillsbury; Boling, 2012).

Em termos quantitativos, metais pesados lançados no meio por efluentes urbanos guardam relação com a magnitude das contribuições aportadas pelas atividades mineradoras, significativamente maiores que as demais atividades geradoras desse tipo de contaminante (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

Quadro 118. Fontes de metais pesados em efluentes comerciais em Estocolmo, em 1999, adaptado de Sörme; Lagerkvist (2002).

Agente	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Grandes empresas	■	■	■	■	■	■	■
Lvagem de veículos	■	■	■		■	■	■
Dentistas				■			
Clínicas, hospitais e farmácias	■	■	■	■	■	■	■
Metais de tubos e torneiras			■				■
Agua		■	■		■	■	■
Lodo acumulado nas tubulações		■	■		■	■	
Substâncias químicas	■	■	■	■	■	■	■

Observação: quando não assinalado com fundo na cor laranja, significa que a contribuição é muito pequena frente a outros tipos de atividades

Nunca deixando de considerar as atividades que já tenham sido descontinuadas, interrompidas ou desativadas, visto a possibilidade de continuarem

a introduzir metais pesados no meio. E constituir sério passivo ambiental (Masindi; Mkhonza; Tekere, 2021).

8.2.5.3.1. Emissários submarinos

Um emissário submarino caracteriza-se como uma estrutura tubular linear enterrada ou assentada sobre o substrato marinho, destinada a conduzir esgotos, efluentes urbanos ou industriais. É provida de sistemas difusores destinados ao lançamento e mistura de efluentes no corpo receptor, seja lago, rio, estuário ou região costeira, onde se dará a dispersão esperada, como previsto pelo projeto (Brasil, 2019; CONAMA, 2011b; Lamparelli; Ortiz, 2003).

A dispersão dos efluentes transportados se dá por meio de difusores, estrutura constituída por orifícios à semelhança do crivo de um chuveiro, em posição invertida, com número e espaçamento entre eles adequados para assegurar vazão e dispersão dimensionada e, como resultado, propiciar a diluição esperada na região denominada como zona de mistura no corpo receptor (Brasil, 2019; Lamparelli; Ortiz, 2003).

Zona de mistura é definida como região do corpo receptor, estimada com base em modelos teóricos aceitos pelo órgão ambiental competente, que se estende do ponto de lançamento do efluente, delimitada pela superfície, onde deve ser atingido o equilíbrio de mistura entre os parâmetros físicos, químicos e biológicos do efluente no corpo receptor, respeitadas as especificações para cada parâmetro físico, químico e microbiológico (Brasil, 2019; CONAMA, 2011b).

No Brasil, o Art. 20 da Resolução CONAMA nº 430/11 estipula que o lançamento de efluentes por meio de emissários submarinos deve atender, após tratamento, aos padrões e condições de lançamento definidos, bem como ao padrão de qualidade da classe do corpo receptor após o limite da zona de mistura. Bem como ao padrão de balneabilidade, tendo em conta as normas e legislação vigente, além de outras diretivas relacionadas (CONAMA, 2011b).

O lançamento de efluentes urbanos em águas salobras, em ambiente estuarino e salinas, na região costeira, é prática comum adotada por grandes cidades costeiras e representa importante fonte de metais pesados, nutrientes,

micro-organismos e poluentes orgânicos persistentes para esses ambientes e para a biocenose deles dependente (Chambers et al., 1997).

8.2.5.4. Serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;

São constituídos pelas atividades operacionais de coleta, transbordo, transporte, triagem para fins de reutilização ou reciclagem, tratamento, inclusive por compostagem, e destinação final de:

- resíduos domésticos;
- resíduos originários de atividades comerciais, industriais e de serviços, em quantidade e qualidade similares às dos resíduos domésticos, que, por decisão do titular, sejam considerados resíduos sólidos urbanos, desde que tais resíduos não sejam de responsabilidade de seu gerador nos termos da norma legal ou administrativa, de decisão judicial ou de termo de ajustamento de conduta; e
- resíduos originários dos serviços públicos de limpeza urbana, tais como serviços de varrição, capina, roçada, poda e atividades correlatas em vias e logradouros públicos; asseio de túneis, escadarias, monumentos, abrigos e sanitários públicos; raspagem e remoção de terra, areia e quaisquer materiais depositados pelas águas pluviais em logradouros públicos; desobstrução e limpeza de bueiros, bocas de lobo e correlatos; limpeza de logradouros públicos onde se realizem feiras públicas e outros eventos de acesso aberto ao público; e outros eventuais serviços de limpeza urbana.

8.2.5.4.1. Atividades desenvolvidas em terra

Resíduos sólidos urbanos são definidos como “resíduos nos estados sólido e semissólido, resultado de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, de serviços de saúde, comercial, de atividades agrossilvopastoris, de serviços e de limpeza urbana, incluindo, ainda, os lodos provenientes de sistemas

de tratamento de água e esgoto, substâncias geradas em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isto soluções técnicas e economicamente inviáveis tendo em vista a melhor tecnologia disponível" (Brasil, 2019).

E envolvem as atividades operacionais de coleta, transbordo, transporte, triagem para fins de reutilização ou reciclagem, tratamento, inclusive por compostagem, e destinação final.

Quanto à origem, os resíduos são caracterizados como:

- domiciliares: originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- públicos: originários da varrição, da limpeza de logradouros e vias públicas e de outros serviços de limpeza urbana;
- sólidos urbanos: constituídos pelos resíduos domiciliares e de limpeza urbana;
- estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: gerados em estabelecimentos comerciais cujas características dependem das atividades ali desenvolvidas;
- serviços públicos de saneamento básico: gerados nas atividades de tratamento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana;
- industriais: gerados nos processos produtivos e em instalações industriais;
- serviços de saúde: produzidos em serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos competentes;
- construção civil: decorrente das construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e da escavação de terrenos para obras civis;
- agrossilvopastoris: resultados das atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

- serviços de transportes: afeitos aos portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira; e
- mineração: abarcando atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Quanto à periculosidade, podem ser:

- perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com leis, regulamentos ou normas técnicas;
- Não perigosos: aqueles não enquadrados no item “a” (Brasil, 2019).

Os diversos tipos de resíduos sólidos acima citados, produzidos em qualquer agrupamento populacional, bairro, cidade ou megalópole, são dispostos em lixões, aterros controlados ou aterros sanitários. Mas essa ação não encerra o ciclo de vida do lixo ao considerar diversas substâncias, muitas delas nocivas e perigosas, presentes ou geradas nesses depósitos (Celere et al., 2007).

Os resíduos dispostos, em razão de estarem expostos ao tempo e interagirem com o intemperismo, resultando na percolação da água da chuva, lixiviam as substâncias orgânicas e inorgânicas, formando chorume (Celere et al., 2007).

O chorume, líquido escuro efluente da massa de resíduos sólidos em decomposição nos depósitos onde são dispostos, apresenta alta concentração de matéria orgânica e, consequentemente, altíssima DBO e DQO, além de elevada concentração de íons de metais pesados, como chumbo, cobre, mercúrio, cromo, cádmio e níquel (Brasil, 2019).

Graças à quantidade de resíduos sólidos acumulados e às características que apresenta, o chorume continua a ser produzido por dezenas de anos após a interrupção da disposição de resíduos sólidos e, como resultado, persiste na contaminação das águas superficiais e subsuperficiais ao longo das décadas.

Com relação aos resíduos sólidos industriais, e graças à grande diversidade de processos industriais afeitos à fabricação dos muitos tipos de produtos

demandados pela sociedade. Dentre os produtos, destacam-se, mas não apenas, produtos têxteis, couro e madeira; coque e produtos derivados de petróleo; químicos, fármacos e farmacêuticos; borracha e material plástico; minerais não metálicos, metalúrgicos e produtos de metal; informática e eletrônicos, além de aparelhos e material elétrico; máquinas e equipamentos, veículos automotores, reboques e carrocerias e outros tipos de equipamentos para transportes; móveis e produtos diversos, além da instalação, reparo e manutenção de equipamentos mecânicos, máquinas e motores (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Por conseguinte, há que se analisar caso a caso, ou cada Subclasse, para avaliar o tipo, características e periculosidade dos resíduos sólidos gerados. Para, em seguida, estimar a magnitude potencial da disponibilização de metais pesados passíveis de serem introduzidos no meio.

8.2.5.4.2. Atividades realizadas na água

São assim considerados os resíduos sólidos descartados em regiões onde predominam habitações subnormais e, consequentemente, há carência de infraestrutura e serviços públicos de coleta de resíduos. Agravados, muitas vezes, pelo comportamento dos moradores da região, que lançam o resíduo produzido nas margens e cursos d'água.

Apenas na RH V – Baía de Guanabara, cerca de 27% dos domicílios, totalizando mais de dois milhões de habitantes, não eram atendidos pelos serviços de limpeza e de coleta de resíduos sólidos domésticos, por volta de 2010. Adicionalmente, 7,13% dos domicílios contavam com caçambas para a disposição de resíduos sólidos, de acordo com o segundo Censo Demográfico de 2000. Com a ressalva de que alguns desses serviços operavam de maneira irregular e incompleta (Franz, 2011).

O lançamento de resíduos sólidos pela população, portanto, tanto nos rios como na rede de drenagem, coloca-se como importante componente para agravar a qualidade das águas que afluem às baías, com ênfase na RH V – Baía de Guanabara (Coimbra et al., 2021).

Ainda mais agravado pelo lançamento de lixo nas vias públicas por usuários, motoristas e passageiros de veículos, em seguida carreado para a rede de drenagem e coleções hídricas (Agência Nacional de Águas - ANA, 2017).

8.2.5.5. Serviço público de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas

Drenagem, em termos hidráulicos, é compreendida como o processo de movimentação de massas líquidas de um local para outro por meio de canais naturais ou artificiais.

Ou, por meio de definição oficial, como “manejo das águas pluviais por meio do conjunto de serviços e/ou atividades, infraestruturas e instalações operacionais para transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas” (Brasil, 2019).

A drenagem urbana carreia grande quantidade de poluentes e contaminantes, colocando-se como importante fonte urbana de poluição em decorrência da drenagem de:

- áreas de expansão urbana;
- áreas com grandes construções;
- áreas urbanizadas;
- locais de disposição de resíduos;
- áreas comerciais, residenciais e praças; e
- ruas, avenidas e pontes/viadutos (EPA, 1993).

A avaliação da contribuição da drenagem urbana com metais pesados que afluíam às estações de tratamento de esgoto, em Estocolmo, Suécia, em 1999, considerou a contribuição dos aerossóis, tráfego, áreas construídas e lodo acumulado na tubulação (Sörme; Lagerkvist, 2002).

Os aerossóis contribuíram com Cd, Cr, Cu, Ni e Pb e foram transportados a partir de áreas situadas no entorno da cidade.

A categoria genérica tráfego possibilitou estimar a contribuição das pastilhas e lonas de freio dos veículos, desgaste dos pneus, asfalto, consumo de gasolina e óleo nos veículos como fontes de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn.

As áreas construídas, nas quais era comum a utilização de telhas metálicas, grades e ferragens de aço galvanizado, tintas e material elétrico, dentre outros materiais construtivos, apresentaram correlação com maior concentração de Cd, Cu e Zn, principalmente, Quadro 119.

Quadro 119. Principais fontes de metais pesados introduzidos pela drenagem urbana de áreas construídas. Em fundo na cor laranja, fontes mais significativas que em fundo amarelo, menos significativas. Fonte: adaptado de Sörme; Lagerkvist (2002)

Fonte	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Deposição atmosférica							
Tráfego							
Pastilhas e lonas de freio							
Pneus							
Asfalto							
Gasolina							
Óleo							
Área construída							
Lodo acumulado na tubulação							

Observação: em fundo amarelo, atividades responsáveis pela introdução de quantidades menores de metais pesados, de acordo com as referências consultadas, e, em fundo branco, quando a contribuição é muito pequena ou inexistente, frente a outros tipos de atividades.

Em suma, destaca-se a importância que os diferentes tipos de uso da terra no ambiente urbano apresentam. Bem como o respectivo potencial para a geração de impactos negativos nas condições e padrões de qualidade dos corpos d'água receptoras (National Research Council, 2008).

Em decorrência, a introdução de poluentes e sedimento varia significativamente a depender do tipo de uso e área drenada. Bem como a introdução de metais pesados, caso presentes nas áreas citadas, Quadro 120.

Quadro 120. Importância relativa dos diferentes tipos de uso da terra em áreas urbanas e potencial de contaminar águas pluviais e drenagem urbana. Fonte: National Research Council (2008).

Parâmetro considerado	Tipo de uso / utilização e potencial de contaminação				
	Residencial	Comercial	Industrial	Rodoviário	Construção
Intensidade e energia do fluxo	Baixo	Alto	Moderado	Alto	Moderado
Volume de água drenada	Baixo	Alto	Moderado	Alto	Moderado
Lixo flutuante e grosseiro	Alto	Alto	Baixo	Moderado	Alto
Sedimento e material em suspensão	Baixo	Moderado	Baixo	Baixo	Muito alto
Esgoto e água de limpeza	Moderado	Alto	Moderado	Baixo	Baixo
Microorganimos	Alto	Moderado	Moderado	Baixo	Baixo
Substâncias tóxicas metálicas e orgânicas	Baixo	Moderado	Alto	Alto	Moderado
Nutrientes e eutrofização	Moderado	Moderado	Baixo	Baixo	Moderado
Matéria orgânica	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Moderado
Calor e água com temperatura elevada	Moderado	Alto	Moderado	Alto	Baixo

Sörme e Lagerkvist (2002) estudaram a composição química de efluentes urbanos e água de drenagem em ambientes urbanos de Estocolmo, Suécia, em 1999, estimando as fontes de metais pesados e respectivas contribuições por atividades presentes na região.

Na ausência de informações, utilizaram dados disponíveis em bibliografia para estimar o papel que as atividades e usos da terra apresentavam na contribuição por metais pesados, Quadro 121.

Quadro 121. Contribuições percentuais aproximadas de metais pesados pelas diferentes fontes e produtos/bens/atividades em Estocolmo, 1999. Fonte: Sörme; Lagerkvist (2002).

Fonte	Bens / produtos / atividades	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Cr (%)	Ni (%)	Cd (%)	Hg (%)
Esgoto doméstico	Efluentes residenciais	59	30	1	2	16	20	44–47
	Efluentes comerciais	30	27	38	13	13	32	21
	Água de infiltração	2	4	1	2	10	3	1
	Lodo nas tubulações	–	–	+	–	–	–	+
Drenagem urbana	Construção civil	13–17	24	–	–	–	1	–
	Tráfego	5	10–11	9–11	<1	<1	1	–
	Deposição atmosférica	<1	2	4	1	1	4	–
	Lodo nas tubulações	–	–	+	–	–	–	(q)
Total das duas fontes		**109-113**	**97-99**	**53-55**	**18**	**40**	**60**	**66-69**
Participação do esgoto doméstico		91	61	40	17	39	55	66–69
Participação da drenagem urbana		18–22	36–37	13–15	1	1	5	–

Observação: (-) significa que a fonte citada é insignificante ao comparar com as demais; (+) indica que a fonte é, provavelmente, significativa, mas o valor não pode ser estimado.

8.2.5.6. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção E - Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação

Metais pesados aportados por alguns tipos de atividades econômicas ligadas à Seção E - Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação, Quadro 122.

Referências consultadas (Hossain et al., 2025; Gu et al., 2022; Skorbiłowicz; Sidoruk, 2025; Wan et al., 2023; Birch, 2024; Sörme; Lagerkvist, 2002; Brown; Peake, 2006; Hilliges; Schriewer; Helmreich, 2013; Huber; Welker; Helmreich, 2016; Brasil, 2019; Flyhammar, 1997; Cavallet; De Carvalho; Fortes Neto, 2013; Nriagu; Pacyna, 1988; Barbier et al., 1999; Juanes et al., 2006; Lim et al., 2013; Tatone et al., 2013).

Quadro 122. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção E - Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação

Seção E – Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação / Saneamento Básico														
Atividades e Tipos de uso	Metal pesado Aportado	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco	Causa / Fonte	Referência
		As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn		
Área emersa	Abastecimento água potável	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Desprezível	WHO, 2022; 2011
	Efluentes urbanos												
													Jian et al., 2024
												Maior fonte desses elementos para as águas costeiras	Nriagu; Pacyna, 1988
		7	4	3	1	5	8		6		2	Sistema tratamento esgoto Região Metropolitana Lima – Callao, Peru	Espinoza Guillen et al., 2022
	Efluentes industriais												
	Drenagem e águas pluviais												
												Ambientes urbanos e atividades industriais	Hossain et al., - 2025
		7	8	4	3	2			5		1	Ambiente urbano, atividades industriais e deposição atmosférica	Gu et al., 2022
												Atividades industriais, drenagem de áreas agrícolas e atividades de transporte	Skorbiłowicz e Sidoruk, 2025
				2	1	4			5		3	Drenagem urbana	Wan et al. – 2023
												Áreas e trânsito urbano	Birch, 2024
												Estocolmo	Sörme e Lagerkvist, 2002
			1	5	3	2			4			Aerossóis precipitados em área urbana	Sörme; Lagerkvist, 2002
			1	5	3	2			4		6	Contribuição do trânsito em Estocolmo	Sörme; Lagerkvist, 2002
				1	2						3	Drenagem urbana, Dunedin, Nova Zelândia	Brown; Peake, 2006
				3	1						2	Caixa separadora de sedimento em autoestrada, Munique, Alemanha	Hilliges; Schriewer; Helmreich, 2013
			d	1	b	2			c		a	Amostras coletadas em estradas, ruas, viadutos e estacionamentos nos seis continentes. 1,2,3... forma particulada; a,b… forma dissolvida	Huber; Welker; Helmreich, 2016
	Resíduos sólidos												
												Chorume de lixões	Brasil, 2019
												Malmö, Suécia	Flyhammar, 1997
												Lixão, Paranaguá, Paraná	Cavallet; De Carvalho; Fortes Neto, 2013
												RS gerados por atividades econômicas	Nriagu; Pacyna, 1988
Ambiente aquático	Emissários submarinos											Golfo de Trieste, Italia	Barbier et al., 1999
												Baía de Santander, Espanha	Juanes et al., 2006
			2	5	3		1		4		8	Baía de Masan, Coreia	Lim et al., 2013
				2	4	3		5	1		6	Buenos Aires, Argentina	Tatone et al., 2013

8.2.6. Seção F - Construção

Contempla a construção de casas e edifícios para usos residenciais, lojas, galpões e estruturas para fins comerciais, industriais, agropecuários e públicos. Inclui reformas, manutenções corriqueiras, complementações, alterações e adaptações de imóveis, além da montagem de estruturas pré-fabricadas para fins diversos de natureza permanente ou temporária (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015d).

Abarca, também, a construção, reforma e manutenção de obras de infraestrutura tais quais autoestradas, vias urbanas, pontes, túneis, ferrovias, metrôs, pistas de aeroportos, portos e redes de abastecimento de água, sistemas de irrigação e esgoto, instalações industriais, redes de transporte por dutos (gasodutos, minerodutos, oleodutos), linhas de eletricidade e instalações esportivas, entre outras (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015d).

Além de serviços especializados inerentes ao processo de construção relacionados à preparação do terreno para construção, instalação de estruturas e equipamentos necessários à execução da obra, acabamento e operação do imóvel, contemplando instalações hidráulicas, sistemas de calefação e de ar-condicionado, antenas, sistemas de alarme e outras instalações elétricas, sistemas de irrigação automáticos, elevadores e escadas rolantes, tratamento térmico e acústico, alvenaria, refrigeração comercial, a instalação de sistemas de iluminação e sinalização luminosa em rodovias, ferrovias, aeroportos, portos, dentre outros (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

E, ainda, serviços de demolição de estruturas previamente existentes por meio manual, mecanizado ou por implosão, além da limpeza e preparação do canteiro de obras.

A Seção F conta com três Divisões (41 a 43), nove Grupos e 21 Classes totalizando 47 Subclasses ou tipos de atividades com relação à introdução potencial de metais pesados no meio, Quadro 123.

Quadro 123. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção F – Construção. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015d).

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas na Seção F foram agrupadas

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
F	CONSTRUÇÃO			
	42	OBRAS DE INFRA-ESTRUTURA		
		42.1	3	Construção de rodovias, ferrovias, obras urbanas e obras-de-arte especiais
		42.2	3	Obras de infra-estrutura para energia elétrica, telecomunicações, água, esgoto e transporte por dutos
		42.9	3	Construção de outras obras de infra-estrutura
	43	SERVIÇOS ESPECIALIZADOS PARA CONSTRUÇÃO		
		43.1	4	Demolição e preparação do terreno
		43.2	3	Instalações elétricas, hidráulicas e outras instalações em construções
		43.3	1	Obras de acabamento
		43.9	2	Outros serviços especializados para construção

nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 124; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 125; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 126 e Figura 127.

Quadro 124. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção F - Construção nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas Marítimas na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Aleixo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção F – Construção		3.783	3.152	2.967	573	5.694	9	5.693	4.840	1.153	5	243	7.366	100	730	284	**36.592**

Quadro 125. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção F - Construção nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Seção F – Construção		126	1.599	3.263	392	**5.380**

Quadro 126. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção F – Construção nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	INEA	1	2	3	4	5	6	7	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracuí	Contribuintes a Enseada do Bracuí	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção F – Construção		191	78	31	84	336	115		**835**

8.2.6.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção F – Construção

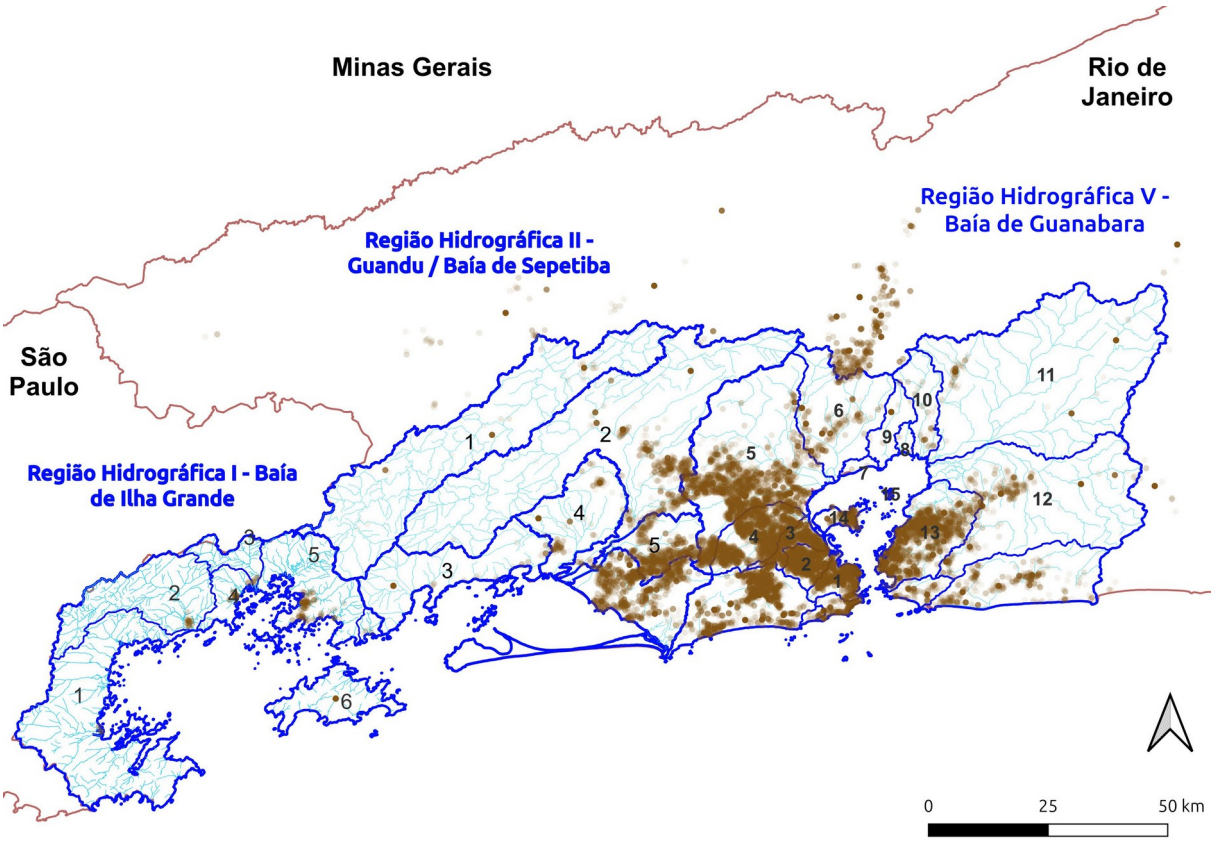


Figura 127. Pessoas jurídicas na Seção F – Construção, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

8.2.6.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção F - Construção

Descrição sintética das atividades da Seção F – Construção e os metais pesados potencialmente introduzidos nas RHs V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 127.

Referências consultadas (Oteyola; Ola-Oladimeji, 2021; Somasundaram et al., 2014; Puthran; Patil, 2023; Cheng et al., 2018; Gao et al., 2015).

Quadro 127. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção F – Construção. Fonte:

Seção F – Construção														
Atividades e Tipos de uso		Metal pesado Aportado	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco	Causa / Fonte	Referência
			As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn		
Área emersa	Construção			■	■		■						Material e atividades de construção	Oteyola; Ola-Oladimeji, 2021
	Concreto e agregado		■	■	■	■	■			■		■	Reciclado de demolições	Somasundaram et al. – 2014
	Resíduos de madeira, metal e elétricos		■	■	■	■	■			■		■	Material de construção reciclado a partir dos resíduos citados	Somasundaram et al. – 2014
	Tintas, pigmentos e pintura		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Pigmentos para colorir tintas e revestimentos para metais, madeiras e paredes internas e externas	Puthran e Patil - 2023
	Reforma, pintura e restauração			■	■	■				■		■	Cores das tintas utilizam pigmentos e geram poeira com metais pesados	Cheng et al. – 2018
	Pavimentação		■	■	■	■	■	■		■		■	Reciclagem de pavimentação asfáltica e betume	Somasundaram et al. – 2014
	Demolição			■	■	■	■			■		■	Avaliação da concentração de metais pesados em resíduos de construção civil está diretamente relacionado ao tipo de atividade que ocorria anteriormente no local	Gao et al., 2015
			■	■	■	■	■			■		■	Cd, Cu e Zn apresentaram concentrações acima do background da região e China na maior parte das amostras. As, Cr, Pb e Ni necessitam de atenção ao considerar o depósito de resíduos de construção civil analisado	Yu et al. - 2018

8.2.7. Seção G - Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas

Abarca as atividades de compra e venda de mercadorias, no atacado e varejo, sem transformação significativa, de veículos - automóveis, utilitários, camionetas e similares, ônibus, micro-ônibus e caminhões - e motocicletas, tanto novos como usados (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Contempla, também, a manutenção e reparação mecânica, elétrica, eletrônica, funilaria, pintura, polimento, serviços de borracharia, vidros, capotaria, alinhamento e balanceamento de rodas, instalação ou substituição de peças e de acessórios, manutenção e reparação de ar-condicionado, instalação de películas de insulfilm em veículos automotores, incluindo conversão de motores e adaptação de veículos especiais.

E, ainda, a manutenção e reparação de mecânica, elétrica, funilaria, capotaria e estofamento, pintura e serviço de borracharia para motocicletas, triciclos e bicicletas (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

Adicionalmente, abarca o comércio atacadista e varejista de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, como gás liquefeito de petróleo (GLP); lubrificantes para uso automotivo; asfalto; produtos siderúrgicos e metalúrgicos; tintas e materiais para pintura, incluindo esmaltes, lacas, vernizes, corantes, impermeabilizantes, solventes para tintas e massas; ferragens, ferramentas e material elétrico–eletrônico; peças, periféricos e suprimentos para informática e comunicação; máquinas, aparelhos e equipamentos para uso industrial, comercial, odontológico, médico e hospitalar; resíduos e sucata; comércio de sucatas e produtos usados e recuperados, dentre diversos outros segmentos.

A Seção G conta com três Divisões (45 a 47), 22 Grupos, 95 Classes 222 Subclasses ou tipos de atividades, com diversas delas presentes nas RHs V, II e I, Quadro 128.

Quadro 128. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção G – Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
G	COMÉRCIO; REPARAÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES E MOTOCICLETAS			
	45	COMÉRCIO E REPARAÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES E MOTOCICLETAS		
		45.1	2	Comércio de veículos automotores
		45.2	1	Manutenção e reparação de veículos automotores
		45.3	1	Comércio de peças e acessórios para veículos automotores
		45.4	3	Comércio, manutenção e reparação de motocicletas, peças e acessórios
	46	COMÉRCIO POR ATACADO, EXCETO VEÍCULOS AUTOMOTORES E MOTOCICLETAS		
		46.1	9	Representantes comerciais e agentes do comércio, exceto de veículos automotores e motocicletas
		46.2	3	Comércio atacadista de matérias-primas agrícolas e animais vivos
		46.3	8	Comércio atacadista especializado em produtos alimentícios, bebidas e fumo
		46.4	8	Comércio atacadista de produtos de consumo não-alimentar
		46.5	2	Comércio atacadista de equipamentos e produtos de tecnologias de informação e comunicação
		46.6	6	Comércio atacadista de máquinas, aparelhos e equipamentos, exceto de tecnologias de informação e comunicação
		46.7	5	Comércio atacadista de madeira, ferragens, ferramentas, material elétrico e material de construção
		46.8	8	Comércio atacadista especializado em outros produtos
		46.9	3	Comércio atacadista não-especializado
	47	COMÉRCIO VAREJISTA		
		47.1	3	Comércio varejista não-especializado
		47.2	5	Comércio varejista de produtos alimentícios, bebidas e fumo
		47.3	2	Comércio varejista de combustíveis para veículos automotores
		47.4	4	Comércio varejista de material de construção
		47.5	8	Comércio varejista de equipamentos de informática e comunicação; equipamentos e artigos de uso doméstico
		47.6	3	Comércio varejista de artigos culturais, recreativos e esportivos
		47.7	7	Comércio varejista de produtos farmacêuticos, perfumaria e cosméticos e artigos médicos, ópticos e ortopédicos
		47.8	6	Comércio varejista de produtos novos não especificados anteriormente e de produtos usados
		47.9	1	Comércio ambulante e outros tipos de comércio varejista

As pessoas jurídicas incluídas na Seção G – Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das Rhs consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 129, II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 130, e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 131 e Figura 128.

Quadro 129. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas Marítimas na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Alexo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção G - Comércio Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas		6.235	4.512	5.419	1.005	11.307	6	8.728	6.931	2.175	4	521	13.711	229	1.320	671	**62.774**

Quadro 130. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção G - Comércio Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas		367	2.126	4.472	1.142	**8.107**

Quadro 131. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	INEA	1	2	3	4	5	6	7	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracuí	Contribuintes a Enseada do Bracuí	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção G - Comércio Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas		127	166	51	86	581	274		**1.285**

8.2.7.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção G – Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas

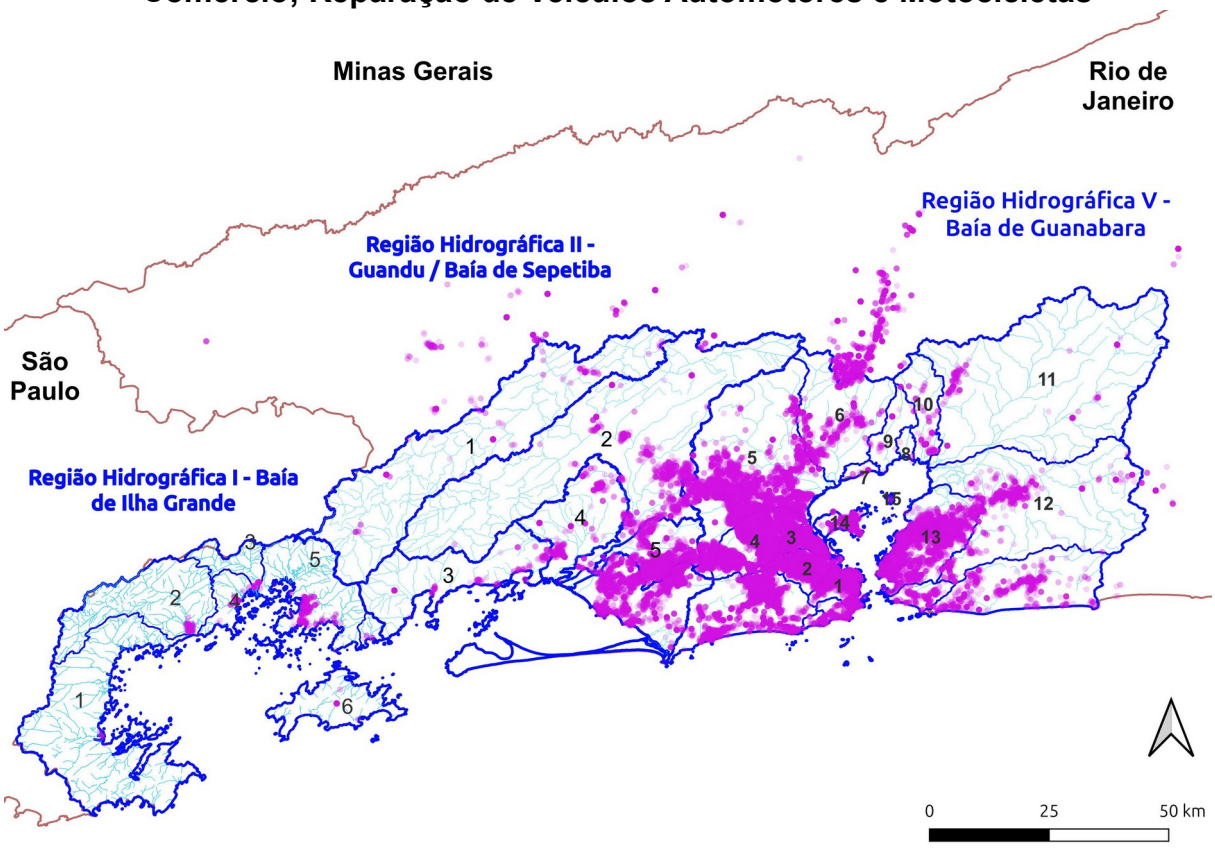


Figura 128. Pessoas jurídicas na Seção G – Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

O comércio de peças para veículos automotores – motocicletas, automóveis, ônibus, caminhões, tratores, motores marítimos, entre outros – e, principalmente, as empresas prestadoras de serviços de manutenção para esses veículos e motores, utilizam amplo leque de peças, acessórios, equipamentos, filtros e ferramentas, dentre outros; substâncias químicas, como argônio, catalisadores, fluídos e óleos, combustível, querosene, diluentes e thinner, tintas, pigmentos e vernizes, massa plástica e silicone, principalmente; além de fitas, lixas, estopa e consumíveis diversos utilizados nas atividades cotidianas em uma oficina mecânica ou de pintura (Harkot, 2009).

Os resíduos sólidos gerados pelo processo produtivo e atividades relacionadas referem-se a peças metálicas gastas, quebradas e amassadas, substituídas por novas; recipientes vazios de base, tinta, verniz, graxa e lubrificantes; estopas impregnadas por óleo, graxa e solventes; papel e fitas para mascaramento utilizadas no processo de pintura; ferramentas e equipamentos de proteção individual - EPIs usados e inservíveis; filtros de ar da cabine de pintura; lixas, filtros de pó e algodões usados; discos do polimento e luvas inservíveis; embalagens diversas, caixas de papelão e embalagens plásticas (Harkot, 2009).

Com relação aos efluentes líquidos, destacam-se como principais a água utilizada na lavagem dos veículos, pisos e instalações, além de efluentes sanitários lançados na rede pública, quando disponível.

Já os principais tipos de emissões atmosféricas nesses tipos de estabelecimento são constituídos por material particulado e substâncias voláteis decorrentes das atividades de funilaria, tais como preparação das superfícies por meio de lixamento de massa de poliéster; pintura dos veículos responsável pela emissão de gotículas de tintas e vernizes; volatização de solventes como thinner, água-raz e removedor, além de hidrocarbonetos como combustíveis, óleos e graxas; e, ainda, gases decorrentes do funcionamento dos motores dos veículos, com emissão de dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio, ozônio e material particulado (Harkot, 2009).

8.2.7.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção G - Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas

Resumo dos metais pesados introduzidos no meio pelas principais atividades na Seção G - Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas, Quadro 132.

Referências consultadas: (Onianwa; Jaiyeola; Egekenze, 2001; Gyimah et al., 2022; Lee et al., 2021; Ali; Ahmad, 2025; Abagale et al., 2013).

Quadro 132. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção G – Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas.

Seção G – Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas														
Atividades e Tipos de uso / Metal pesado Aportado		Arsênio (As)	Cádmio (Cd)	Chumbo (Pb)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Mercúrio (Hg)	Manganês (Mn)	Níquel (Ni)	Estanho (Sn)	Zinco (Zn)	Causa / Fonte	Referência
Área emersa	Oficinas de serviços mecânicos, funilaria, soldagem, revisão e manutenção preventiva de automóveis, veículos, caminhões, ônibus e motocicletas, dentre outros veículos automotores e motores estacionários		■	■	■	■			■		■	Os níveis de Zn, Cd,Cr e Ni foram acima do background mas abaixo dos limites para qualidade do solo enquanto Pb e Cu foram muito elevados. A causa, suspeitou-se, foi o despejo de óleo combustível no solo	Onianwa et al., 2001
			■	■	■	■		■	■			Atividades de reparos mecânicos, funilaria, soldagem, revisão e manutenção de veículos em oficinas podem contaminar o solo e resultar em implicações ambientais e de saúde humana, como identificado em amostras coletadas em cinco regiões, uma de controle, com diversas oficinas mecânicas atuantes em Bogoso Junction, Tarkwa, Ghana	Gyimah et al., 2022
		■		■	■						■	Coleta de 2.330 amostras de soloentre 2015 e 2019 junto as principais fontes de metais pesados relacionados à veículos - oficinas mecânicas, desmanches, autoescolas, garagens, estacionamentos e margens de estradas possibilitaram inferir que Zn e Pb foram emitidos principalmente por oficinas mecânicas, garagens e desmanches de veículos; Zn, Pb e Cu em autoescolas, margens de rodovias e estacionamentos; e As e Ni em todas as fontes.	Lee et al. – 2021
	Lavagem de veículos			■	■	■			■		■	Avaliação da qualidade de água antes e efluente após a lavagem de veículos foi realizada em cinco estabelecimentos de lavagem de veículos em Kalar, situada na região do Kurdistão, Iraque, e constatou que os níveis de metais pesados eram inferiores aos índices, inclusive da internationais e da WHO, enquanto os efluentes apresentaram índices altos e próximo ao limite oferecendo riscos ao ambiente e saúde humana	Ali e Ahmad, 2025
				■		■		■				Amostras de água de três estabelecimentos de lavagem de automóveis na região metropolitana da TAmale, Ghana, constatou níveis acima do limite definido pela WH para Cr, Mn e Pb	Abagale et al., 2013

8.2.8. Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio

Considera as atividades de transporte de passageiros e mercadorias nas modalidades rodoviária, ferroviária, aquaviária, aérea e dutoviária, incluindo as atividades auxiliares como gestão e operação de terminais rodoviários, ferroviários, portuários e aeroportuários, além de atividades correlatas (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015d).

O armazenamento, por sua vez, refere-se às atividades de movimentação e armazenamento de todos os tipos de cargas, operação de silos para grãos, depósitos para mercadorias em geral, tanques para armazenagem de produtos líquidos ou gasosos antes ou após seu transporte, ou entre segmentos de transporte de distintas modalidades. E considera, ainda, as atividades auxiliares das diversas modalidades de transporte, envolvendo a operação da infraestrutura de suporte nas rodovias, ferrovias, aeroportos, portos, pontes e túneis, entre outras correlatas, além das atividades de agenciamento de transporte (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015d).

Bem como as atividades da administração da estrutura portuária, manutenção da dragagem e das condições físicas do porto, como atividades de operação de terminais marítimos e fluviais, de uso público ou privado, armazenamento no parque portuário de mercadorias provenientes ou destinadas às embarcações, incluindo, também, a operação e gestão de equipamentos destinados a carga e descarga, além do balizamento da área portuária.

A Seção H conta com cinco Divisões (49 a 53), 19 Grupos, 34 Classes e 67 Subclasses ou tipos de atividades, com diversas delas presentes na RH V, II e I, Quadro 133.

Quadro 133. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
H	TRANSPORTE, ARMAZENAGEM E CORREIO			
	49	TRANSPORTE TERRESTRE		
		49.1	2	Transporte ferroviário e metroferroviário
		49.2	3	Transporte rodoviário de passageiros
		49.3	1	Transporte rodoviário de carga
		49.4	1	Transporte dutoviário
		49.5	1	Trens turísticos, teleféricos e similares
	50	TRANSPORTE AQUAVIÁRIO		
		50.1	2	Transporte marítimo de cabotagem e longo curso
		50.2	2	Transporte por navegação interior
		50.3	1	Navegação de apoio
		50.9	2	Outros transportes aquaviários
	51	TRANSPORTE AÉREO		
		51.1	2	Transporte aéreo de passageiros
		51.2	1	Transporte aéreo de carga
		51.3	1	Transporte espacial
	52	ARMAZENAMENTO E ATIVIDADES AUXILIARES DOS TRANSPORTES		
		52.1	2	Armazenamento, carga e descarga
		52.2	4	Atividades auxiliares dos transportes terrestres
		52.3	3	Atividades auxiliares dos transportes aquaviários
		52.4	1	Atividades auxiliares dos transportes aéreos
		52.5	1	Atividades relacionadas à organização do transporte de carga
	53	CORREIO E OUTRAS ATIVIDADES DE ENTREGA		
		53.1	1	Atividades de Correio
		53.2	1	Atividades de malote e de entrega

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas nessa Seção H – Transporte, Armazenagem e Correio foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 134; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 135; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 136 e Figura 129.

Quadro 134. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio, nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas Marítimas na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Irriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Aleixo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	
Seção H - Transporte Armazenagem e Correio		267	58	129	23	361	2	213	176	32	1	13	376	2	94	8	**1.755**

Quadro 135. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	
Seção H - Transporte Armazenagem e Correio		5	29	192	32	**258**

Quadro 136. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	**INEA**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracuí	Contribuintes a Enseada do Bracuí	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	
Seção H - Transporte Armazenagem e Correio		186	12	13	29	170	261		**671**

8.2.8.1. Síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio

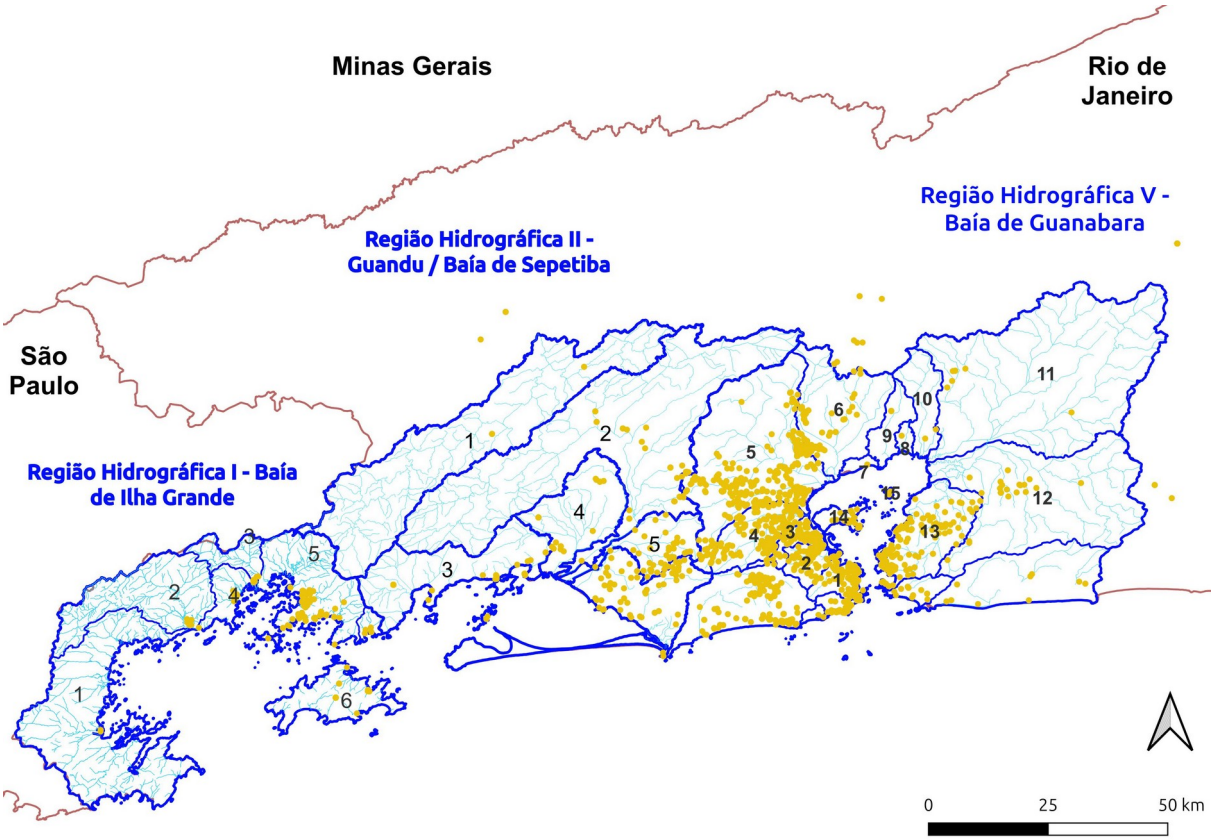


Figura 129. Pessoas jurídicas na Seção H – Transporte, Armazenagem e Correio, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

8.2.8.2. Transporte terrestre

A drenagem da precipitação incidente sobre as faixas de rolamento em áreas urbanas e rurais, bem como nas pistas de pouso e de decolagem em aeroportos, apresenta complexa mistura de diversos poluentes, como, por exemplo, sedimento e sólidos suspensos, nutrientes, hidrocarbonetos e PAHs, substâncias químicas diversas, metais pesados e, potencialmente, herbicidas e pesticidas, cujas consequências e efeitos dependem da formulação química e região considerada, características ambientais e peculiaridades do corpo receptor no que diz respeito à qualidade da água (Buckler; Granato, 1999).

As fontes primárias de metais pesados nas rodovias, ruas e avenidas são apresentadas no Quadro 137. Já as estimativas da quantidade de metal pesado introduzido no meio em decorrência do tráfego automotivo podem ser visualizadas no Quadro 138.

Quadro 137. Metais pesados introduzidos no meio e principais fontes decorrentes do trânsito de veículos em rodovias. Fonte: adaptado de EPA (1993).

Metal pesado		**Fonte primária**
Cádmio	Cd	Desgaste de pneus (material agregado), inseticidas
Chumbo	Pb	Desgastes de pneus (material agregado constituído por óxido de chumbo) e rolamentos, óleo lubrificante e graxa
Cobre	Cu	Revestimentos metálicos, desgaste de rolamentos, buchas, peças móveis do motor e pastilhas de freio, fungicidas e inseticidas
Crômio	Cr	Revestimentos metálicos, desgaste de peças móveis do motor e lonas de freio
Manganês	Mn	Partes móveis mecânicas
Níquel	Ni	Exaustão da queima incompleta de óleo diesel e gasolina, óleo lubrificante, revestimentos metálicos, desgaste de lonas de freio e da pavimentação asfáltica
Zinco	Zn	Desgaste de pneus (material agregado), aditivos de óleo do motor, graxa

Quadro 138. Emissão de metais pesados (em ton/ano) pelo tráfego automotivo, considerando 6 x 10^6 veículos em Houston, Texas, EUA. Fonte: adaptado de Ajmone-Marsan (2010), citado por Dama (2021).

Metal pesado	**Exaustão**	**Vazamento de óleo**	**Desgaste pneus**	**Pastilhas e lonas de freio**	**Radiador**	**Total**
As	0,2	15,0	13,0	4,0	-	0,2
Cd	1,2	2,0	0,7	-	-	1,9
Cr	1,7	14,0	2,6	518,0	-	4,8
Cu	0,3	61,0	3,7	9.072,0	50,9	63,9
Pb *	240,0	2,0	-	22,0	72,0	242,0
Ni	1,7	7,0	2,5	285,0	192,0	4,7
Zn	2,3	1,5	175,0	117,0	168,0	179,0

Observação: * decorrente da utilização de chumbo tetraetila como antidetonante da gasolina, cujo uso foi descontinuado nos EUA, em meados da década de 90, e, na Europa, no início dos anos 2000

Importante destacar o papel das pontes e viadutos na introdução de hidrocarbonetos, substâncias tóxicas, sedimento, resíduos sólidos e metais pesados diretamente na superfície das águas, visto não dispor de áreas para infiltração no solo, como nas rodovias, para atenuação dos impactos ambientais negativos (EPA, 1993).

Já com relação à contribuição das rodovias para os corpos d'água adjacentes, as mais significativas são de Cd, Cu, Pb e Zn (Driscoll et al., 1990, citados por EPA 1993).

No que respeita ao transporte ferroviário, os principais metais pesados introduzidos, além daqueles afeitos à queima de combustível fóssil, decorrem da corrosão dos trilhos e do desgaste das locomotivas, vagões e equipamentos ao longo da operação devido ao atrito, liberando majoritariamente Pb, Hg e Cd (Davenport; Switalski, 2006a).

Adicionalmente aos metais pesados acima citados, a composição de herbicidas e pesticidas utilizados nas margens dos trilhos e dormentes, além de surfactantes, retardantes de fogo e inibidores de corrosão comumente aplicados, pode contribuir com outros metais pesados para o meio (Davenport; Switalski, 2006.a).

Esses contaminantes, uma vez carreados pelas águas das chuvas, são drenados para corpos d'água próximos, quando podem apresentar efeitos cumulativos para os sistemas biológicos, na dependência da biodisponibilidade dos contaminantes e da interação entre eles e os seres vivos (Buckler; Granato, 1999; Davenport; Switalski, 2006a).

8.2.8.3. Transporte aquaviário

O transporte aquaviário inclui embarcações para transporte de passageiros; cargas sólidas, granéis líquidos e gasosos; marinha de guerra; pesca artesanal e industrial; apoio às atividades de óleo e gás e turismo, além de esporte e recreio.

Bem como estruturas portuárias para carga e descarga de mercadorias secas, granéis líquidos e gasosos; pescado e equipamentos. Incluindo marinas, clubes e garagens náuticas, diferenciadas de acordo com o tamanho, tipo, objetivos

e intensidade de uso das embarcações, dentre as quais se destacam, pelas dimensões, os estaleiros para construção, reparo e modernização de embarcações.

A justificativa para a agregação das diferentes atividades marítimas e náuticas – marinha mercante, guerra, escama (ou pesqueira), passageiros e esporte e recreio - decorre dos impactos ambientais negativos semelhantes gerados por todas elas, incluindo as estruturas de apoio, comuns, porém diferenciadas de acordo com o tamanho e intensidade de uso das embarcações.

Para a segura operação, o transporte marítimo demanda o atendimento a diversos pré-requisitos para a segura e previsível realização. Dentre eles, destaca-se a dragagem para manutenção da profundidade de projeto do canal de acesso às áreas de evolução e berço portuário.

O sedimento dragado e a consequente disposição do material resultam em impactos como resultado da dispersão do material disposto, disponibilização de poluentes e soterramento da fauna bentônica (Fredette e French, 2004; Wurpts, 2006; Castro e Almeida, 2012, citados Duverval et al., 2021).

Quanto às embarcações, geram efluentes caracterizados por águas negras constituídas pelo esgoto sanitário, efluentes de ambientes confinados para transporte de animais, enfermarias e demais áreas com acentuada presença de bactérias patogênicas, nutrientes, fármacos, hormônios, xenobióticos e metais pesados, geralmente com concentrações acima de padrões considerados pela maior parte dos países (Sahin; Vardar, 2020).

As águas cinzas, formadas por efluentes das pias, ralos, box para banho, lavanderia e pias das cozinhas dos restaurantes, apresentam menor carga patogênica que as águas negras. No entanto, costumam apresentar detergentes e substâncias químicas diversas (Sahin; Vardar, 2020).

Em muitos sistemas de tratamento de esgoto de navios de passageiros – em diversas ocasiões com dimensões equivalentes à população de pequenas cidades ao considerar o número de passageiros, até 5.000, e tripulantes, entre 1.500 e 2.000 - as águas negras e cinzas são coletadas no mesmo tanque e objeto do mesmo tipo de tratamento e diluição antes de serem lançadas no mar. Nessas situações, não ocorre atenuação da carga de metais pesados e poluentes sintéticos complexos

presentes nesses efluentes (Sahin; Vardar, 2020).

Navios para transporte de cargas produzem os mesmos tipos de efluentes que os navios para turismo. Mas, como o número de tripulantes e passageiros é muito menor nos primeiros, o volume de efluentes gerados é também proporcionalmente menor.

Com relação às embarcações de esporte e recreio, como botes, lanchas, iates, motos aquáticas, veleiros motorizados e embarcações miúdas, é importante ressaltar que causam os mesmos tipos de impactos que as grandes embarcações de carga e passageiros, porém em escala menor ao considerar as dimensões dos cascos.

Ao mesmo tempo, nos locais em que estão agrupadas em grande número, são amarradas em poitas, fundeadas com ferros, atracadas tanto em piers como em cais ou, ainda, guardadas em seco em marinas e garagens náuticas. Essa situação magnifica o impacto de cada uma delas quando representam, em conjunto, importante fonte de distúrbio para alteração da qualidade das águas e sedimento de fundo.

No Brasil e, particularmente, nas baías de Guanabara, Sepetiba e Ilha Grande, predominam em botes, voadeiras e pequenas lanchas, além de veleiros, motores de popa de dois tempos que exigem a queima de óleo lubrificante com o combustível.

Davenport e Switalski (2006) estimam que, devido à combustão incompleta da mistura de gasolina e óleo, esses motores dois tempos podem ser responsáveis pela contaminação das águas e atmosfera com cerca de 30% do volume de combustível utilizado.

O impacto ambiental causado pelas pequenas embarcações é significativo. De acordo com Davenport e Switalski (2006), nos EUA, em 1998, 1,2 milhão de motos aquáticas utilizaram e lançaram nas águas e na atmosfera os resíduos de cerca de 200 milhões de litros de gasolina e óleo. E, no Lago Mead, estado do Arizona, estimaram lançar, em apenas um dia de um final de semana do pico no verão, cerca de 100.000 litros de combustível não queimado nas águas.

A título de comparação, os mesmos Davenport e Switalsk, acima citados, informam que, em um dia de qualquer final de semana normal na Califórnia, a utilização de moto aquática emite 50% de hidrocarbonetos e NO_2 a mais do que a emissão de toda a frota veicular do estado.

8.2.8.3.1. Fundeadouro de embarcações de apoio à cadeia de óleo e gás, pesca industrial e artesanal

A operação de embarcações utilizadas no apoio às atividades de petróleo e gás, à pesca industrial e artesanal, bem como atividades de turismo, esporte e recreio, necessita de locais para embarque e desembarque de passageiros, cargas, suprimentos e pescado, em estruturas fixas como cais e piers. Nesses casos, a permanência geralmente é temporária para operação de carga e descarga ou embarque e desembarque de passageiros.

Ou permanente quando amarradas em poitas constituídas por sistema que conta com blocos de concreto lançados no fundo, onde são presas correntes e cabos nos quais são amarradas as embarcações. Quanto não estão em uso.

Nas situações nas quais as embarcações não contam com poita para amarração, fundeiam mediante o lançamento de ferros ou âncoras no substrato.

Nessas ocasiões, e dependendo dos poluentes e metais pesados presentes no sedimento de fundo, poderá ocorrer a ressuspensão e remobilização desses poluentes.

Estudos realizados para avaliar o impacto ambiental decorrente do uso de âncoras e correntes na área de fundeio do porto de Picton, em Aotearoa, Nova Zelândia, constataram diversos tipos de distúrbios no fundo.

Dentre eles, destacou-se a alteração da granulometria do sedimento e rugosidade do fundo, além da ressuspensão de sedimento que, nas situações em que era contaminado pelo material utilizado para ancoragem, como âncoras, correntes, manilhas e demais equipamentos, podia ser remobilizado e contaminar a região (Watson et al., 2022).

8.2.8.3.2. Dragagem de canais, disposição do dragado e mineração do substrato

Com a instituição dos primeiros grupamentos populacionais ribeirinhos e costeiros, surgiu a necessidade de assegurar acesso e regularidade no transporte de pessoas, equipamentos e materiais pelas águas. Para tanto, tornou-se necessário o aumento e manutenção da profundidade dos portos e atracadouros, inicialmente realizados por meio de procedimentos manuais e, mais recentemente, mecanizados por meio de dragas e embarcações para escavação, transporte e disposição do material dragado nos locais designados para tal (Bray; Cohen, 2010).

Dragagens de canais, áreas de evolução e berços portuários são realizadas para atender interesses diversos. Dentre eles, destacam-se a segurança da navegação; obtenção de material sedimentar para aterros e construção civil; alimentação para recomposição de praias erodidas, seja por processos naturais ou ações antrópicas; remediação ambiental em áreas contaminadas; controle de enchentes, alagamentos e inundações; mineração de minerais, gemas, metais preciosos e fertilizantes, além de outros objetivos afeitos às fundações de obras civis, alocação de oleodutos, gasodutos, cabos elétricos e óticos, dentre outras necessidades e aplicações (Bray; Cohen, 2010).

Nesse contexto, constata-se que sedimento de regiões portuárias, marinas e garagens de barcos costumam apresentar elevada concentração de metais pesados como Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn e Zn, geralmente decorrentes da utilização de tintas anti-incrustantes à base de metal, realização de serviços estruturais, mecânicos, elétricos e hidráulicos nas embarcações (Briant et al., 2013; Elhadj et al., 2024; Foteinis; Kallithrakas-Kontos; Synolakis, 2013; Kapsimalis et al., 2010; Rao; Rao, 1997; Wu; Reichart; Kraal, 2025).

8.2.8.3.3. Embarcações soçobradas

Naufrágio de uma embarcação ocorre geralmente após um acidente. Tem significado equivalente a navio ou embarcação afundada ou encalhada. Aplica-se, ainda, a qualquer parte de um navio afundado ou encalhando, incluindo qualquer objeto que esteja ou tenha estado a bordo de tal embarcação, qualquer objeto

perdido no mar a partir de um navio e que esteja encalhado, afundado ou à deriva, ou um navio que esteja prestes a afundar ou encalhar. Bem como qualquer situação em que possa ser razoavelmente esperado que afunde enquanto medidas eficazes de assistência à embarcação ou qualquer propriedade em perigo ainda não forem tomadas (IMO, 2011).

Os poluentes gerados por uma embarcação naufragada dependem do tipo, tamanho, região e percurso da embarcação. Mas, como regra, contém óleo combustível, lubrificante e hidráulico; hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs); amianto e isolantes térmicos; polímeros plásticos; materiais radioativos, além de toxinas como bifenilas policloradas (PCBs) e metais pesados (Kamm, 2014).

Estudos realizados nas imediações de embarcações sossobradas constataram a presença de Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn em concentrações maiores que o background da região (Al-Zubaidi; Kadhim; Al-Mosawi Walaa, 2024; Rogowska et al., 2015; Hahladakis; Stylianos; Gidarakos, 2013).

8.2.8.3.4. Marinas e garagens náuticas para apoio a embarcações de esporte e recreio

Marinas e garagens náuticas são responsáveis pela introdução de diversos tipos de poluentes, entre os quais se destacam sólidos suspensos, óleos e graxas, partículas de fibra de vidro e polímeros diversos, poeira decorrente do lixamento e preparação das superfícies para pintura, além de tinta carreada pelo vento (EPA, 2001).

Devido à localização, geralmente nas margens dos corpos d’água, bem como à drenagem das áreas secas impermeabilizadas utilizadas para guarda e manutenção de embarcações, marinas e garagens náuticas constituem-se como grandes fontes de poluentes diretamente nas águas (EPA, 2001).

Quando as embarcações permanecem nas águas, o potencial para contaminação é ainda maior.

Quadro que pode ser agravado por se tratar, como regra, de ambientes com baixo fluxo hidrodinâmico e condições físico-químicas e biológicas da água já comprometidas pelos centros urbanos adjacentes (EPA, 1993).

Metais e compostos metálicos são comumente utilizados por apresentarem diversas funções na manutenção, uso e reparo de embarcações (EPA, 2001).

Dentre os metais pesados, o arsênio é utilizado em pigmentos de tintas, pesticidas e preservantes de madeiras (EPA, 2001).

Cádmio, por sua vez, é utilizado em baterias. Tal qual chumbo (EPA, 2001).

Cobre é utilizado como biocida em tintas anti-incrustantes. E, também, na formulação de cromato e arsenato de cobre para preservação de madeiras (EPA, 2001).

Mercúrio, em diversos interruptores e automáticos de nível da água de bombas de porão, tanques de água doce e em termostatos de aquecedores e acondicionadores de ar. Com a ressalva de que cada interruptor pode conter mercúrio equivalente a mais de 100 lâmpadas fluorescentes (EPA, 2001).

Níquel, como componente de lonas de freio de carretas de transporte de embarcações. Bem como agregado no material utilizado para pavimentação das áreas secas das marinas (EPA, 2001).

Zinco, em ânodos para proteção galvânica contra a corrosão de partes metálicas, hélices e componentes do motor, além de constituir peças do motor, correias, mangotes e mangueiras (EPA, 2001).

Os metais pesados listados, incluindo cromo, bem como alumínio e ferro como metais leves, são utilizados em diversos equipamentos e componentes utilizados em marinas, garagens náuticas e embarcações de turismo e lazer (EPA, 2001).

Adicionalmente, metais pesados também são introduzidos nesse tipo de atividade graças à contribuição dos veículos. Tanto em decorrência de manobras e estacionamento, como pela utilização de vias de acesso e rampas para colocação e retirada das embarcações da água. Essas áreas impermeabilizadas possibilitam transportar poluentes pelas águas das chuvas por meio do sistema de drenagem diretamente para as águas, sedimento e ambientes costeiros próximos às marinas (EPA, 2001).

8.2.8.4. Transporte aéreo

A drenagem da precipitação incidente sobre as pistas de pouso e decolagem em aeroportos apresenta complexa mistura de diversos poluentes, como, por exemplo, sedimento e sólidos suspensos, nutrientes, hidrocarbonetos e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PHAs), substâncias químicas diversas e metais pesados, dentre outras (Buckler; Granato, 1999).

A operação das aeronaves e o desgaste de componentes liberam metais como Al, Cr, Fe e Zn nas pistas, enquanto a abrasão dos pneus libera Zn, Cd e Pb. O desgaste de lonas e pastilhas de freio contribui com Cu, Pb, Cr, Mn e Zn, adicionalmente ao Al, Cu, Ni e Cr provenientes do desgaste de peças móveis dos motores. Além desses aportes, há que considerar o vazamento recorrente de óleos, fluidos e combustíveis em pátios de manobra, hangares e pistas (Buckler; Granato, 1999).

Para exemplificar a magnitude dessa atividade, a Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara conta com dois aeroportos civis: o Aeroporto Internacional Tom Jobim, ou Galeão, na Ilha do Governador, onde pousam entre 100 e 150 aeronaves por dia, e o Aeroporto Santos Dumont, que recebe cerca de 200 aeronaves diariamente.

A cada aterrisagem, os pneus dos trens de pouso perdem cerca de 1,5 kg de material, resultando, no Aeroporto Internacional do Galeão, em aproximadamente 200 kg de resíduos/dia e, no Aeroporto Santos Dumont, em 300 kg/dia. Desse resíduo gerado, constituído por polímeros e diversas substâncias químicas, incluindo metais pesados, parte permanece aderida à pista de rolagem até ser regularmente removida. Mas a porção solta é carreada pelos sistemas de drenagem de águas pluviais e introduzida diretamente nas águas da Baía de Guanabara (Cosentino, 2023).

8.2.8.5. Armazenamento, carga, descarga e atividades auxiliares dos transportes

Abarca as atividades relacionadas com a organização, movimentação e armazenamento de cargas e seu transporte, incluindo segmentos de transporte de

distintas modalidades, ou modais, além das atividades auxiliares das diversas modalidades de transporte, como operação da infraestrutura de suporte nas rodovias, ferrovias, aeroportos, portos, pontes, túneis, entre outros.

8.2.8.5.1. Estacionamento de veículos

Estudo realizado com dados de amostras coletadas nas décadas de 1990 e 2000 nos seis continentes avaliou a presença de metais pesados em oito tipos de área de tráfego: estacionamentos, pontes, três tipos de rodovias e três tipos de autoestrada (Huber; Welker; Helmreich, 2016).

O aporte de metais pesados – Pb, Zn, Ni, Cu, Cd e Cr - nos estacionamentos variava conforme o tipo de utilização: clientes de supermercados, empregados durante o expediente de trabalho e parada de veículos para refeições ou pernoite, além de fatores climáticos, geomorfológicos e relacionados ao tipo de uso da terra na região (Huber; Welker; Helmreich, 2016).

8.2.8.6. Atividades auxiliares, gestão de portos e terminais de cargas para o transporte aquaviário

Portos e terminais de cargas secas, granéis líquidos, passageiros e apoio ao desembarque de produção pesqueira estão expostos à complexa mistura de poluentes como metais pesados, hidrocarbonetos poliaromáticos, bifenilas policloradas, entre diversas outras substâncias tóxicas.

Destacam-se, portanto, como áreas costeiras impactadas por ações antropogênicas em diversos locais da América do Sul, como em Santos, no Brasil, em portos na Europa e entorno do Mar Mediterrâneo (Castrec et al., 2023; Delgado et al., 2023b).

Portos localizados em diferentes países e continentes costumam apresentar Ag, As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em concentrações superiores ao background desses elementos para a região (Chen et al., 2023; Manaadiar, 2023; Hand, 2021, 2020; Cukrov et al., 2011; Davenport; Switalski, 2006).

8.2.8.7. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção H – Transporte, Armazenagem e Correio

Resumo dos metais pesados introduzidos por cada um dos Grupos e Divisões da Seção H - Transporte, Armazenagem e Correio, Quadro 139.

Referências consultadas (EPA, 1993; Dama, 2021; Huber; Welker; Helmreich, 2016; Davenport; Switalski, 2006b; Buckler; Granato, 1999; Chen et al., 2023; Manaadiar, 2023; Hand, 2021, 2020; Cukrov et al., 2011; Elhadj et al., 2024; Lim et al., 2022; Chiu et al., 2006; Chowdhury; Rasid, 2016; Kim, 2015; Bayrak et al., 2022; Pan et al., 2016; Alamgir et al., 2023; Lee; Shin; Oh, 2025; Özşeker et al., 2025; Briant et al., 2013; Elhadj et al., 2024; Foteinis; Kallithrakas-Kontos; Synolakis, 2013; Kapsimalis et al., 2010; Rao; Rao, 1997; Wu; Reichart; Kraal, 2025; Cukrov et al., 2011; Castrec et al., 2023; Chen et al., 2023; Delgado et al., 2023b, 2023a; Wu; Reichart; Kraal, 2025; Cassi; Tolosa; Mora, 2008; Briant et al., 2013; Jian et al., 2024; Al-Zubaidi; Kadhim; Al-Mosawi Walaa, 2024; Rogowska et al., 2015; Hahladakis; Stylianos; Gidarakos, 2013).

Quadro 139. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção H – Transporte, armazenagem e correio. Fonte:

Seção H – Transporte, Armazenagem e Correio														
Atividades e Tipos de uso	Metal pesado Aportado	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco	Causa / Fonte	Referênicas
		As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn		
Área emersa	Transporte rodoviário		■	■	■	■		■	■		■	Resultado do trânsito rodoviário	EPA, 1993
		■	■	•	■	■			■		■	Componentes diversos dos automóveis	Ajmone-Marsan, 2010, citado por Dama. 2021
	Estacionamento de veículos		■	■	■	■			■		■	Tipo de uso de estacionamentos	Huber; Welker; Helmreich, 2016
	Transporte ferroviário		■	■			■					Corrosão de trilhos, desgastes das locomotivas, vagões e equipamentos	Davenport; Switalski, 2006a
	Transporte aéreo		■	■	■	■		■	■		■	Desgaste de peças, pneus, lonas e pastilhas de freio, peças móveis dos motores, piso além do regular vazamento de combustível e óleo	Buckler; Granato, 1999
			■	■	■	■		■	■	■	■		
Ambiente aquático	Portos e terminais de carga e passageiros	■	■	■	■	■		■	■		■	Comum a muitos portos situados em diferentes países e continentes	Chen et al., 2023; Manaadiar, 2023; Hand, 2021, 2020; Cukrov et al., 2011; Davenport; Switalski, 2006
	Transporte aquaviário				■						■	Tinta anti-incrustrante e proteção catódica	Elhadj et al., 2024
		■		■	■	■	■		■			Diagnóstico em porto para embarcações da pesca	Lim et al.,2022
	Estaleiros			■	■						■	Estaleiros Hong Kong	Chiu et al., 2006
			■	■	■	■		■	■		■	Desmantelamento de navios	Chowdhury; Rasid, 2016
			■	■			■				■	Grandes estaleiros na Coreia	Kim, 2015
		■	■	■					■			Estaleiro na Turquia	Bayrak et al., 2022
			■	■	■	■		■	■		■	Ambiente de trabalho em estaleiro	Pan et al., 2016
		■		■	■	■	■		■				
	Embarcações pesqueiras	■		■	■	■	■		■			Diagnóstico de porto pesqueiro	Lim et al., 2022
	Portos e terminais de carga e passageiros	6	5	4	3	2			1			Efluentes industriais associados	Alamgir et al., 2023
				■			■					Associados a combustíveis - carvão	Lee et al., 2025
	Porto pesqueiro	■		■	■						■	Descarga fluvial, drenagem urbana e atividades industriais	Özşeker et al., 2025
	Dragagem de canais		■	■	■	■	■	■	■	■	■	(Briant et al., 2013; Elhadj et al., 2024; Foteinis; Kallithrakas-Kontos; Synolakis, 2013; Kapsimalis et al., 2010; Venugopala Rao; Someswara Rao, 1997; Wu; Reichart; Kraal, 2025)	
			■	■		■		■	■		■		Rao & Rao, 1997
			■				■					Diminuição das concentrações no tempo	Cukrov et al., 2011
		■	■	■	■				■		■	Diminuição das concentrações no tempo	Castrec et al.,2023
				■	■	■		■	■		■	Diagnóstico	Chen et al., 2023
			■	■		■			■		■	Principal fonte relacionada ao porto	Delgado et al., 2023a; Delgado et al., 2023b
			■	■	■	■					■	Áreaa urbana e sedimento historicamente contaminado	Wu et al., 2025
	Marinas, garagens náuticas e iates clubes						■			■	■	Tinta anti-incrustrantes, estruturas submersas	Cassi et al., 2008; Briant et al., 2013, Jian et al., 2024
			■	■		■		■	■		■	Dragagem berços	Rao & Rao, 1997
		■	■		■	■	■		■		■	Utilizados em componentes e serviços náuticos	EPA, 1993; 2001
	Embarcações soçobradas			■	■		■	■	■		■	(Al-Zubaidi; Kadhim; Al-Mosawi Walaa, 2024; Rogowska et al., 2015; Hahladakis; Stylianos; Gidarakos, 2013).	

Observação:
1 - ● com a interrupção do uso do chumbo tetraetila como anticomburente da gasolina na década de 90 e 00, o aporte desse metal diminui significativamente;

8.2.9. Seção J - Informação e Comunicação

Abarca as atividades de criação e divulgação de produtos e conteúdos de informação em mídias – impressas, magnéticas, digitais, em meios eletrônicos, sem fio e óticos, dentre outros –, não necessariamente tangíveis e sem formato específico. Bem como as atividades de provisão de serviços e/ou operação de infraestrutura que possibilitam a transmissão e o armazenamento desses produtos.

Com ênfase na edição e impressão de livros, jornais, revistas, periódicos, dicionários, enciclopédias, atlas, mapas, listas para malas diretas, listas telefônicas e cadastros, dentre outras publicações, como cartões postais e reproduções de trabalhos de arte, para citar os mais importantes.

A Seção J conta com seis Divisões (58 a 63), 14 Grupos, 32 Classes e 44 Subclasses ou tipos de atividades, com diversas delas presentes na RH I, II e V e destaque para as apresentadas no Quadro 140.

Quadro 140. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção J – Informação e Comunicação. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
J	INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO			
	58	EDIÇÃO E EDIÇÃO INTEGRADA À IMPRESSÃO		
		58.1	4	Edição de livros, jornais, revistas e outras atividades de edição
		58.2	3	Edição integrada à impressão de livros, jornais, revistas e outras publicações

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas nessa Seção foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 141; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 142; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 143 e Figura 130.

Quadro 141. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção J – Informação e Comunicação nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas ~~Marítimas~~ na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Aleixo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	
Seção J - Informação e Comunicação		1.347	323	290	21	275	0	305	215	27	0	3	211	9	14	16	**3.056**

Quadro 142. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção J – Informação e Comunicação nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	
Seção J - Informação e Comunicação		12	24	29	17	**82**

Quadro 143. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção J – Informação e Comunicação nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	**INEA**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracui	Contribuintes a Enseada do Bracui	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	
Seção J - Informação e Comunicação		14	0	0	0	7	12		**33**

8.2.9.1. Síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção J – Informação e Comunicação

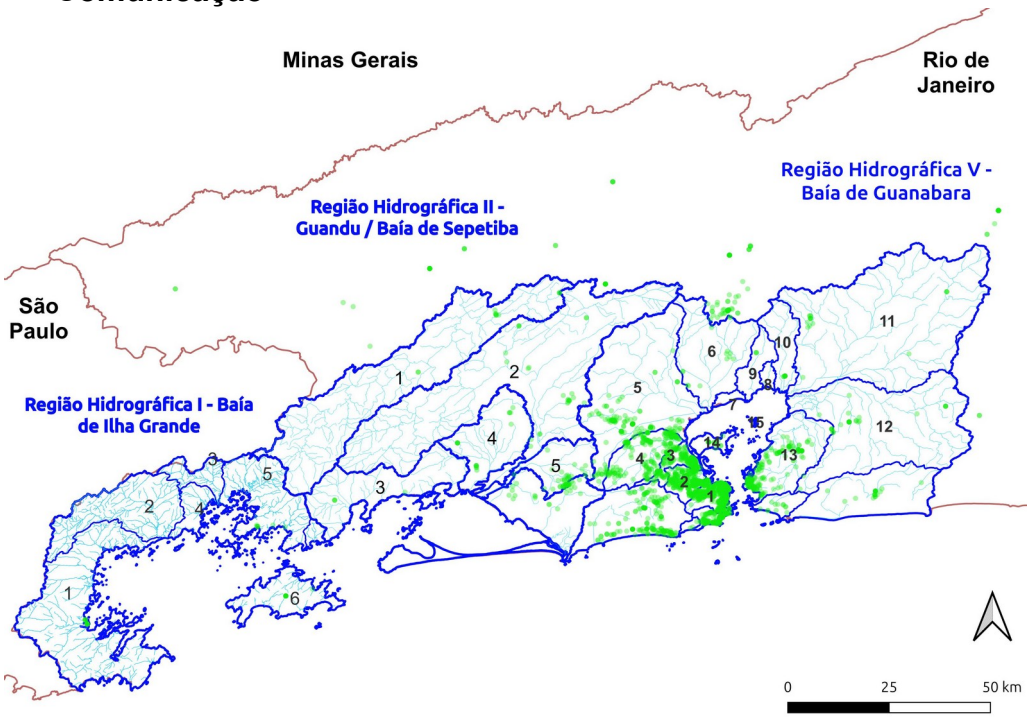


Figura 130. Pessoas jurídicas na Seção J – Informação e Comunicação, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

8.2.9.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção J - Informação e Comunicação

Resumo dos metais pesados introduzidos por cada um dos Grupos e Divisões da Seção J – Informação e Comunicação, Quadro 144.

Referências consultadas (Kiurski et al., 2016; Nandan; Siddiqui; Kumar, 2019; Sirinara et al., 2023; Talib; Abdulateef; Ali, 2021; Gu; Li; Zhang, 2013).

Quadro 144. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção J - Informação e Comunicação.

Seção J – Informação e Comunicação														
Atividades e Tipos de uso / Metal pesado Aportado		Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco	Causa / Fonte	Referências
		As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn		
Área emersa	Impressão e fotocópias		■		■	■					■	Efluentes de atividades de impressão apresenta variedade de tintas, solventes, ácidos, resinas, lacas, corantes, secantes, modificadores e vernizes, dentre outras substâncias.	Kiurski et al. – 2016
		■	■	■		■	■		■		■	Fotocopiadoras e impressoras utilizam diversas peças e consumíveis a bases dos metais pesados citados	Nandan et al. - 2019
		■	■	■		■	■	■	■			Análise de amostras de urina e cabelo de 89 trabalhadores na área de impressão demonstrou que As e Ni foram os metais mais abundantes na urina enquanto Ni, Cr , Pb e Hg nos cabelos, com maior concentração dos funcionários situados na linha de produção	Sirinara et al. - 2023
				■	■						■	Lojas de impressão apresentaram maiores concentrações de metais pesados que fotocopiadoras embora os valores identificados tenham sido acima do permitido em ambas atividades, estudadas na cidade de Baghad	Talib et al. - 2021
				■	■	■	■					Dentre outros metais que não devem ser utilizados para a impressão de rótulos de alimentos, medicamentos e brinquedos infantis	Gu et al., 2013
	Serviços gráficos	■	■			■			■		■	Serviços de impressão e fotocópia	Nandan et al., 2018
				■	■						■	Concentração no ar excedeu os limites permissíveis	Talib et al., - 2021

8.2.10. Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas

Engloba atividades profissionais especializadas, científicas e técnicas exercidas a partir de formação profissional específica, normalmente com elevado nível de qualificação e treinamento. O conhecimento especializado é o principal elemento colocado à disposição do cliente.

Estas atividades compreendem atividades jurídicas, contábeis, publicitárias, veterinárias, incluindo análises laboratoriais de células, tecidos e órgãos de animais; serviços de arquitetura e engenharia, pesquisa científica e pesquisa de mercado; fotografia profissional, incluindo laboratórios de revelação e processamento de filmes, ampliação e impressão de fotografias, além de consultorias, dentre outras atividades especializadas.

E, especificamente, a realização de testes físicos e químicos, dentre outros testes analíticos, de todos os tipos de materiais e produtos, incluindo a avaliação da composição e a pureza de minerais; bem como testes das características físicas, desempenho, provas de resistência, durabilidade e radioatividade de materiais e de produtos.

Abarcando, ainda, testes de desempenho completo de máquinas e motores em veículos automotores; equipamentos eletrônicos; avaliação de parâmetros da água e do ar, radioatividade, análise de contaminação por emissão de fumaça ou águas residuais, entre outras.

Além da pesquisa básica, com trabalhos experimentais ou teóricos, e aplicada de investigação original e experimental, pressupondo trabalho sistemático baseado em conhecimentos prévios fundamentados, na experiência e no planejamento e realização de pesquisas voltadas para o desenvolvimento científico.

A Seção M conta com sete Divisões (69 a 75), 14 Grupos, 19 Classes e 39 Subclasses ou tipos de atividades, com diversas delas presentes na RH V, II e I, Quadro 145.

Quadro 145. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
M	ATIVIDADES PROFISSIONAIS, CIENTÍFICAS E TÉCNICAS			
	71	SERVIÇOS DE ARQUITETURA E ENGENHARIA; TESTES E ANÁLISES TÉCNICAS		
		71.1	3	Serviços de arquitetura e engenharia e atividades técnicas relacionadas
		71.2	1	Testes e análises técnicas
	72	PESQUISA E DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO		
		72.1	1	Pesquisa e desenvolvimento experimental em ciências físicas e naturais
		72.2	1	Pesquisa e desenvolvimento experimental em ciências sociais e humanas
	74	OUTRAS ATIVIDADES PROFISSIONAIS, CIENTÍFICAS E TÉCNICAS		
		74.2	1	Atividades fotográficas e similares
		74.9	1	Atividades profissionais, científicas e técnicas não especificadas anteriormente
	75	ATIVIDADES VETERINÁRIAS		
		75.0	1	Atividades veterinárias

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas nessa Seção foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 146; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 147; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 148 e Figura 131.

Quadro 146. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas ~~Marítimas~~ na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Aleixo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	
Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas		971	307	256	73	374	0	471	732	62	0	12	327	10	44	25	**3.664**

Quadro 147. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção CNAE / Bacia Hidrográfica		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	
Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas		11	34	126	31	**202**

Quadro 148. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	**INEA**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Seção CNAE / Bacia Hidrográfica		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracuí	Contribuintes a Enseada do Bracuí	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	
Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas		5	5	0	0	21	14		**45**

8.2.10.1. Síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção M – Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas

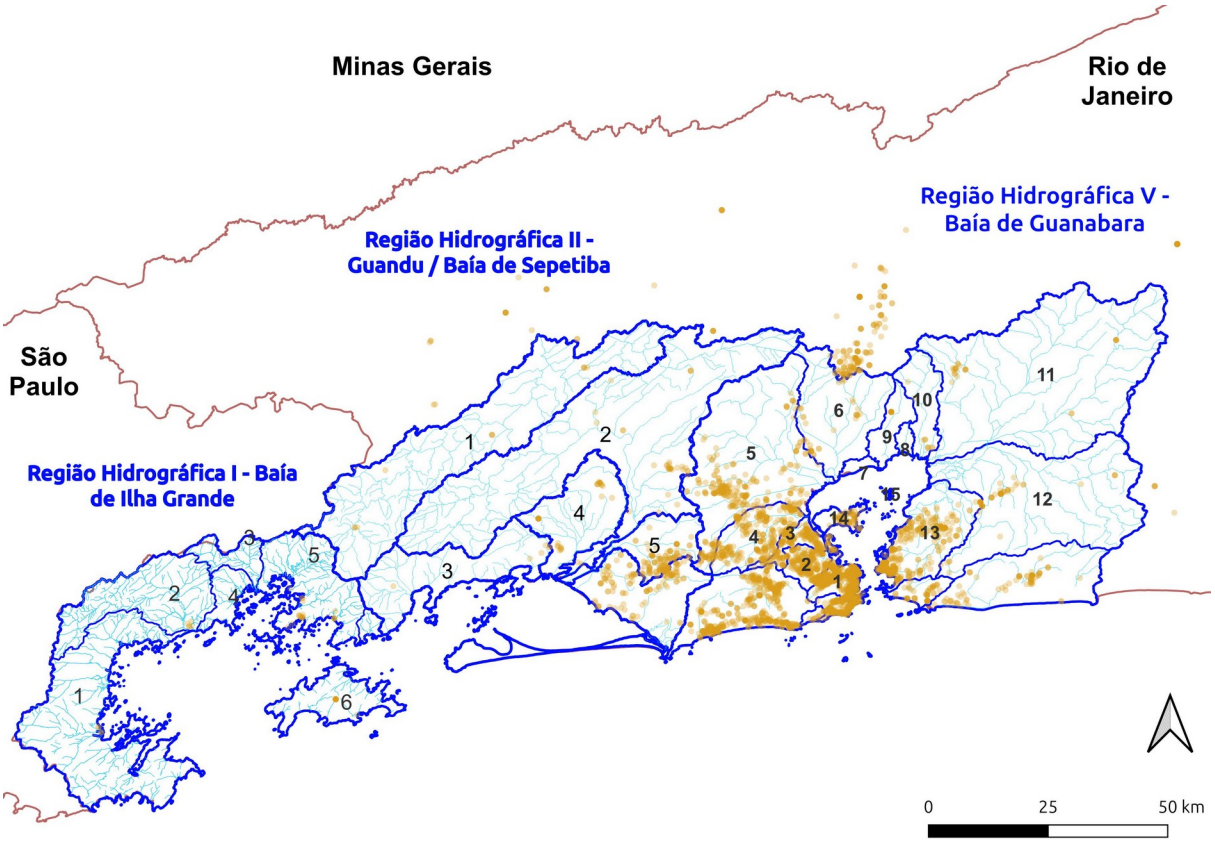


Figura 131. Pessoas jurídicas na Seção M – Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

8.2.10.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas

Resumo dos metais pesados potencialmente introduzidos por cada um dos Grupos e Divisões da Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas, Quadro 149.

Referências consultadas: (Aly et al., 2024; Bashir et al., 2022; Henkula et al., 2025; Chaemiso; Nefo, 2019; EPA, 1976; Bober et al., 2004).

Quadro 149. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas.

Seção M - Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas													
Atividades e Tipos de uso / Metal pesado Aportado		Arsênio (As)	Cádmio (Cd)	Chumbo (Pb)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)	Mercúrio (Hg)	Manganês (Mn)	Níquel (Ni)	Estanho (Sn)	Zinco (Zn)	Causa / Fonte	Referências
Área emersa	Laboratório de análises químicas	■	■	■		■	■	■	■		■	Avaliação do uso de argila e material húmico para tratamento de efluentes de laboratório de análises químicas, Qatar	Aly et al., 2024
			■	■		■		■	■			Análise de efluentes dos laboratórios de bioquímica, microbiologia e química em comparação com o padrão WHO	Bashir et al., 2022
			■	■	■	■	■	■	■	■	■	Efluentes de laboratórios análises químicas de dez universidades em dez países	Dhenkula et al. – 2025
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Revisão bibliográfica acerca de efluentes de laboratórios de diferentes indústrias, universidades e instituições em alguns países,	Chaemiso e Nefo, 2019
	Laboratórios fotográficos		■			■						Presentes em efluentes em pequenas concentrações	EPA, 1976
			■	■		■	■		■		■	Na dependência do sistema de revelação utilizado, se P&B ou cor	Bober et al., 2004

8.2.11. Seção N – Atividades Administrativas e Serviços Complementares

Quadro 150. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção N – Atividades Administrativas e Serviços Complementares.

Seção N – Atividades administrativas e serviços complementares														
Atividades e Tipos de uso	Metal pesado Aportado	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco	Causa / Fonte	Referências
		As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn		
Área emersa	Atividades de limpeza		■	■	■	■		■	■		■	Análise de produtos de uso doméstico como sabões, detergentes e produtos para limpeza disponíveis no mercado, na Nigéria, apesentaram metais pesados em concentrações abaixo do limiar considerado como que de segurança. Mas, com alguns metais apresentam toxicidade (Cd e Pb), características alergênicas (Ni e Cr) e baixa toxicidade (Mn e Zn), podem contaminar o meio e devem ser utilizados adequadamente	Iwegbue et al. - 2019
					■	■		■	■		■	Metais pesados identificados na formulação de produtos de limpeza dos tipos spray, espuma, spray com espuma, aspersor e aspersor com espuma, dentre os quais se destacam, pela quantidade de metais pesados presentes, o spray e o spray com espuma. Dentre os metais pesados, os mais utilizados são Cu, Mn, Ni, Zn e Cr	Kim et al. - 2024
	Controle de pragas	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Misturas de metais pesados com inseticidas apresentam toxidade variável e ainda não bem avaliada e consequências para o solo, seres vivos e seres humanos	Wallace e Buha Djordjevic, 2020
		■		■	■	■	■				■	Cu é Utilizado como fungicida e bactericida além de interferir com a muda e crescimento de insetos; Zn adotado para controle de roedores. Quanto os demais metais pesados, a utilização decorre do tipo de inseto a ser combatido e do estado que o inseticida deve apresentar, se sólido, líquido ou gasoso	bdallah Alnuwaiser - 2019
			■	■	■						■	A exposição cotidiana dos organismos a substâncias tóxicas aumenta o risco de causar danos aos órgãos e sistemas. A exposição diária a múltiplas substâncias tóxicas aumenta, intensamente, a ameaça aos sistemas e seres vivos, com ênfase nos seres humanos	Ullah et al., 2025
	Paisagismo	■		■	■	■						O uso de rochas ornamentais estranhas ao local objeto de projeto paisagístico pode resultar, como em Las Vegas, o aumento da concentração de Cu e pirita nas cristalizações salinas bem como d os demais metais pesados no tecido das plantas resultado na mortalidade da vegetação, danos para a infraestrutura e introdução de metais pesados em concentrações anômalas as originais	Mrozek et al., 2006
				■	■	■			■		■	Análise de água da chuva em diversos pontos de coleta de uma micro bacia hidrográfica urbana situada em Olsztyn, NE Polônia, permitiu constatar que a concentração de metais pesados era maior nos pontos com água de escoamento dos telhados, superfícies impermeabilizadas da cidade, coletor de água de drenagem urbana e a jusante do corpo d'água receptor. E menor nos pontos que coleta água precipitada sem contato com o piso e a montante do corpo d'água receptor|	Pochodyła-Ducka et al., 2023
		■	■	■	■						■	Interessante iniciativa para avaliar, junto aos moradores de uma área urbana localizada em A'Seeb, Oman, o conhecimento e interesse que dispunham a respeito do uso da terra e o papel na contaminação do solo e água de subsolo por diversas substâncias incluindo metais pesados	Shaharoona et al. - 2019

Referências consultadas: (Iwegbue et al., 2019; Ullah et al., 2025; Mrozek et al., 2006; Pochodyła-Ducka; Glińska-Lewczuk; Jaszczak, 2023; Shaharoona et al., 2019).

8.2.12. Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social

Abarca as atividades que, graças à sua natureza, são normalmente realizadas pela Administração Pública e, como tal, são essencialmente não mercantis. Compreendem a administração geral (executivo, legislativo, administrativo e tributário, entre outros, nas três esferas de governo) e a regulamentação e fiscalização das atividades na área social e da vida econômica do país (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015d).

Abarca a regulação das atividades de programas de abastecimento de água potável, das operações de coleta e disposição de resíduos e de programas de proteção ambiental, entre outros.

Bem como, dentre os serviços coletivos prestados pela administração pública, aqueles afeitos à defesa nacional por meio das forças armadas terrestres, navais e aéreas. Demandam, portanto, atividades de engenharia, transporte, comunicação, inteligência e abastecimento, dentre outros, das forças armadas, do Ministério da Defesa e dos comandos militares.

A Seção O conta com uma Divisão (84), três Grupos, nove Classes e nove Subclasses ou tipos de atividades, com diversas delas presentes na RH I, II e V, Quadro 151.

Quadro 151. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
O	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, DEFESA E SEGURIDADE SOCIAL			
	84	ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, DEFESA E SEGURIDADE SOCIAL		
		84.1	3	Administração do estado e da política econômica e social
		84.2	5	Serviços coletivos prestados pela administração pública
		84.3	1	Seguridade social obrigatória

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas nessa Seção foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 152; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 153; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 154 e Figura 132.

Quadro 152. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas Marítimas na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Alexo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	
Seção O - Administração Pública, Defesa e Seguridade Social		503	36	28	18	122	0	184	7	23	0	5	107	16	4	12	**1.065**

Quadro 153. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	
Seção O - Administração Pública, Defesa e Seguridade Social		22	33	28	34	**117**

Quadro 154. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	INEA	1	2	3	4	5	6	7	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracuí	Contribuintes a Enseada do Bracuí	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	
Seção O - Administração Pública, Defesa e Seguridade Social		14	0	0	0	9	8		**31**

8.2.12.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social

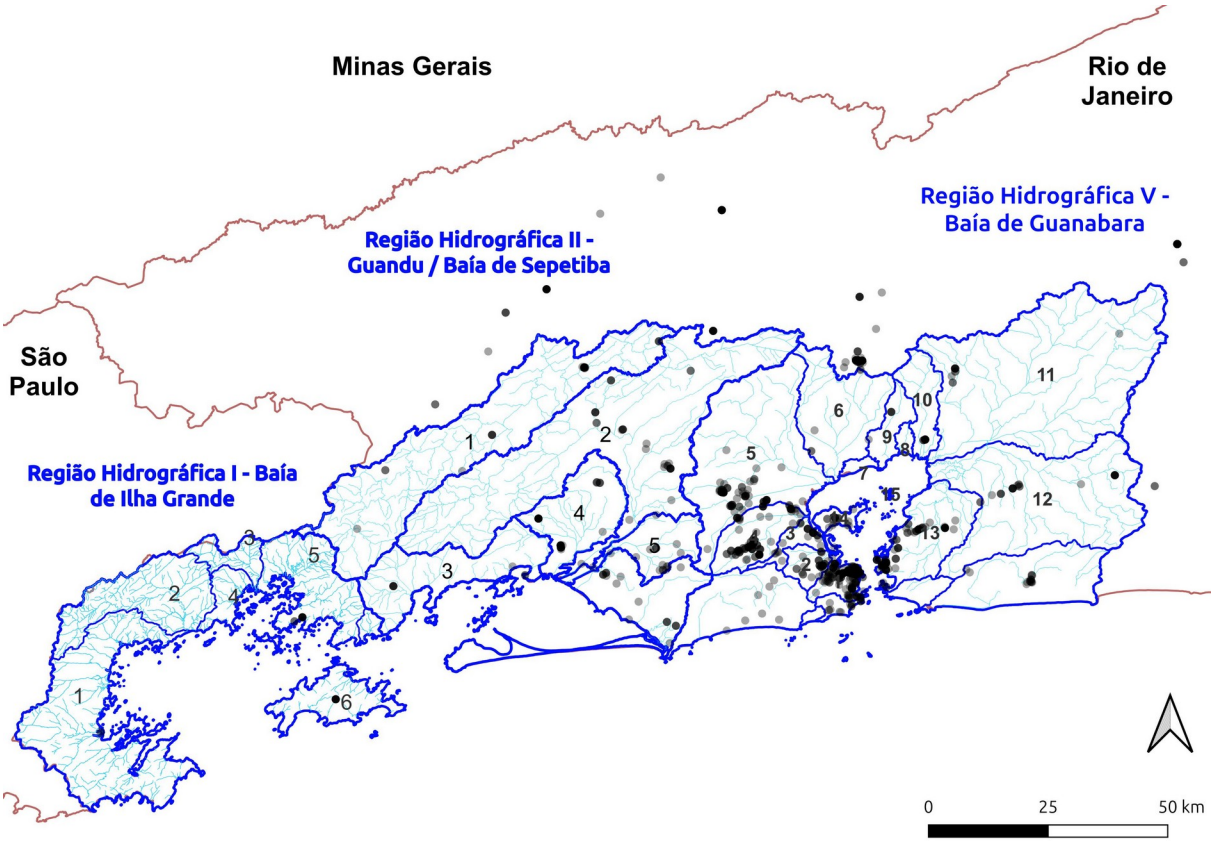


Figura 132. Pessoas jurídicas na Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

8.2.12.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social

Metais pesados potencialmente introduzidos por cada um dos Grupos e Divisões da Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social, Quadro 155. Referências consultadas (Bricka; Williford; Jones, 1994; Trokhymenko et al., 2023; Fayiga, 2018; Kokorīte et al., 2008; Broomandi et al., 2020; Gebka; Bełdowski; Bełdowska, 2016; Krajnović; Smolek, 2024; Bai; Zhao, 2020).

Quadro 155. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção O – Administração Pública, Defesa e Seguridade Social.

Seção N – Atividades administrativas e serviços complementares														
Atividades e Tipos de uso	**Metal pesado Aportado**	**Arsênio**	**Cádmio**	**Chumbo**	**Cobre**	**Cromo**	**Mercúrio**	**Manganês**	**Níquel**	**Estanho**	**Zinco**	**Causa / Fonte**	**Referências**
		As	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Sn**	**Zn**		
Área emersa	Manutenção e reparo de veículos, equipamentos e armamento	■	■	■	■	■		■	■		■	Vide Seção G – Comércio; Reparação de Veículos Automotores e Motocicletas	
	Estaleiro e reparo de embarcações	■	■	■	■	■	■	■	■		■	Vide Seção H – Transporte, Armazenagem e Correio	
	Instalações militares	■	■	■		■	■					Alguns metais pesados excediam em mais de 20 vezes o limite para solo em instalações militares nos EUA	Bricka et al., 1994
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Vide Seção E - Água, Esgoto, Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação / Saneamento Básico	
	Laboratórios militares	■	■	■		■	■						
	Munição, artilharia, treinamentos e ações	■	■	■	■	■	■	■	■		■	Taxa de distribuição e imobilização depende das propriedades mecânicas do solo	Trokhymenko et. al, 2023
				■	■						■	Comuns em munições e explosivos	Fayiga, 2019
			■	■	■	■						Estudo do solo em dois sítios militares na Lituânia	Kokorît et al., 2008
		■	■	■	■	■	■	■	■		■	Análise de solos em áreas militares e áreas impactadas por guerras em diversos países	Broomandi et al., 2020
							■					Hg utilizado em detonadores como nova fonte no meio	Gębka et al., 2016
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Resíduos de munição e atividades de artilharia no solo	Krajnović; Smolek, 2024
		■		■	■		■				■	Concentração de metais varia de acordo com o tempo e profundidade no solo dos fragmentos, China	Bai; Zhao, 2020
				■	■				■		■	Elevadas concentrações em áreas de treinamento, uso de artilharia e pequenas armas de fogo além de próximas a campos de batalha	Bai; Zhao, 2020

8.2.13. Seção P – Educação

Considera as atividades de ensino público e privado, em qualquer nível e para qualquer finalidade, na forma presencial ou à distância.

E, particularmente, instituições de educação superior que oferecem cursos para educação profissional de nível técnico e tecnológico, graduação e pós-graduação *"stricto sensu"* em mestrado, doutorado e pós-doutorado, além de contar com laboratórios diversos e de análises químicas, particularmente.

A Seção P conta com uma Divisão (85), seis Grupos, 14 Classes e 23 Subclasses ou tipos de atividades, com diversas delas presentes na RH V, II e I, Quadro 156.

Quadro 156. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção P – Educação. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015d).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
P	EDUCAÇÃO			
	85	EDUCAÇÃO		
		85.2	1	Ensino médio
		85.3	3	Educação superior
		85.4	2	Educação profissional de nível técnico e tecnológico

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas na Seção P - Educação foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 157; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 158; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 159 e Figura 133.

Quadro 157. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção P - Educação nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	**INEA**	**88**	**85**	**77**	**72**	**71**	**69**	**67**	**66**	**63**	**62**	**58**	**55**	**54**	**53**	**46**	
	Atlas RH V	**2**	**7 e 6**		**8**	**9**	**18**	**19**	**12**	**17**	**14**	**13**	**10**	**15**	**11**	**16**	
	Este estudo	**1**	**2**	**3**	**14**	**4**	**15**	**13**	**7**	**12**	**8**	**9**	**5**	**10**	**6**	**11**	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas ~~Marítimas~~ na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Aleixo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	
Seção P – Educação		103	23	22	8	18	0	32	37	0	0	0	14	2	2	1	**262**

Quadro 158. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção P - Educação nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	
Seção P – Educação		0	3	5	2	**10**

Quadro 159. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção P - Educação nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	**INEA**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracuí	Contribuintes a Enseada do Bracuí	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	
Seção P – Educação		0	0	0	0	1	0		**1**

8.2.13.1. Síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção P – Educação

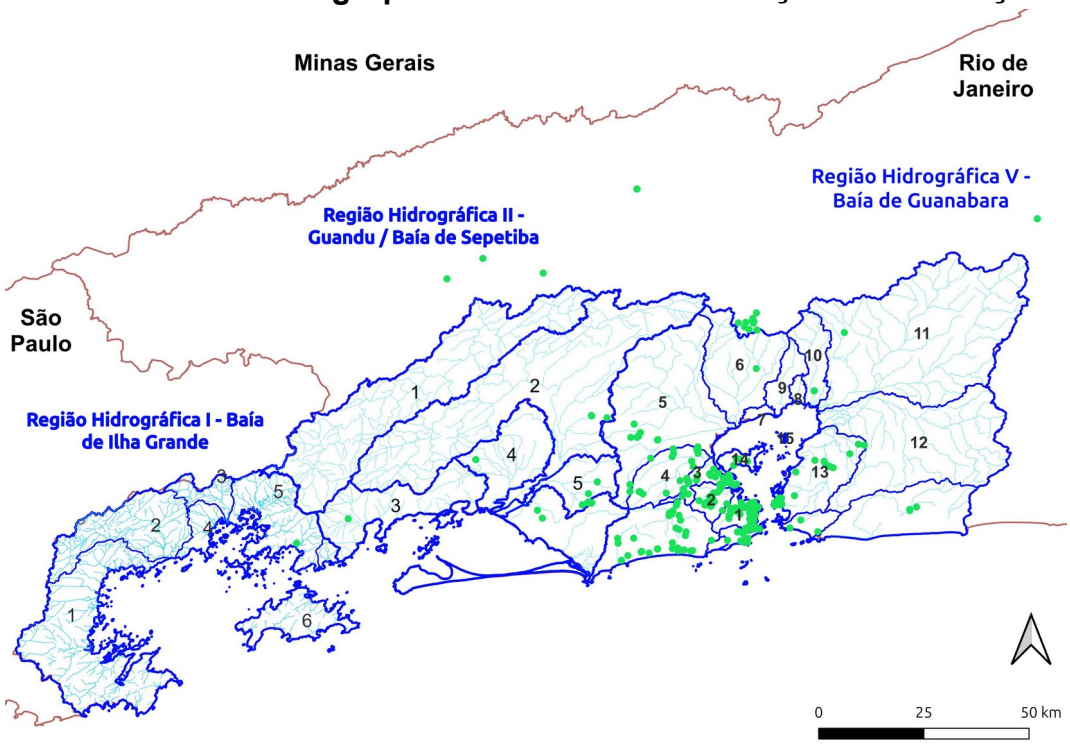


Figura 133. Pessoas jurídicas na Seção P – Educação, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

8.2.13.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção P – Educação

Resumo dos metais pesados potencialmente introduzidos por cada um dos Grupos e Divisões da Seção P – Educação, Quadro 160.

Referências consultadas (Akintunde et al., 2023; Ghasemi; Masoudirad, 2020).

Quadro 160. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção P – Educação

Seção P – Educação													
Atividades e Tipos de uso / **Metal pesado Aportado**		**Arsênio**	**Cádmio**	**Chumbo**	**Cobre**	**Cromo**	**Mercúrio**	**Manganês**	**Níquel**	**Estanho**	**Zinco**	**Causa / Fonte**	**Referências**
		As	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**	**Hg**	**Mn**	**Ni**	**Sn**	**Zn**		
Área emersa	Pesquisa e ensino em laboratórios de análises químicas			■	■	■		■			■	Efluentes de laboratório em universidade, Nigéria	Akintunde et al., 2023
	Faculdade de odontologia		■	■	■		■		■			As concentrações avaliadas nos efluentes estavam abaixo dos limites definidos pela EPA e órgão iraniano ambiental. Já mercúrio, necessita de maior controle quanto à disposição final	Ghasemi e Masoudirad, 2020

8.2.14. Seção Q – Saúde Humana e Serviços Sociais

Abrange as atividades de atenção à saúde humana por meio dos diversos tipos de serviços prestados por médicos, odontólogos e demais profissionais da saúde em hospitais, ambulatórios, consultórios, clínicas, unidades móveis de atendimento a urgências e remoções, incluindo, também, os serviços de saúde prestados nos domicílios.

Contempla, entre outros, os serviços de internação de curta ou longa duração a pacientes em hospitais gerais e especializados, hospitais universitários, maternidades, hospitais psiquiátricos, centros de medicina preventiva e outras instituições de saúde, incluindo hospitais militares e hospitais de centros penitenciários, realizados sob a supervisão direta de médicos. Abarca serviços profissionais de médicos; laboratórios, radiologia e anestesiologia; radioterapia; centros cirúrgicos; pronto atendimento, urgências e emergências; prontos-socorros e clínicas, entre outros.

Adicionalmente, atividades de serviços de complementação diagnóstica e terapêutica compreendendo atividades de laboratórios de anatomia patológica e citológica para a realização de exames citológicos, citopatológicos e histopatológicos; análises clínicas; hemodiálise e diálise peritoneal; tomografia e radiodiagnósticos médicos e odontológicos (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015d)

A Seção Q conta com três Divisões (86 a 88), 11 Grupos, 13 Classes e 52 Subclasses ou tipos de atividades, com diversas delas presentes na RH V, II e I, Quadro 161.

Quadro 161. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção Q – Saúde humana e Serviços Sociais. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

A presença de metais pesados – chumbo, cádmio e níquel – em efluentes de hospital em Benin apresentou variações de concentração ao longo do tempo e tem a fonte associada a agentes de contrastes iodados utilizados em radiografias, medicamentos e seus metabólitos que podem conter elementos organo-halogenados, desinfetantes, detergentes e solventes clorados utilizados na limpeza,

além de reagentes utilizados nos laboratórios (Deguenon et al., 2022)

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
Q	SAÚDE HUMANA E SERVIÇOS SOCIAIS			
	86	ATIVIDADES DE ATENÇÃO À SAÚDE HUMANA		
		86.1	1	Atividades de atendimento hospitalar
		86.2	2	Serviços móveis de atendimento a urgências e de remoção de pacientes
		86.3	1	Atividades de atenção ambulatorial executadas por médicos e odontólogos
		86.4	1	Atividades de serviços de complementação diagnóstica e terapêutica
		86.5	1	Atividades de profissionais da área de saúde, exceto médicos e odontólogos
		86.6	1	Atividades de apoio à gestão de saúde
		86.9	1	Atividades de atenção à saúde humana não especificadas anteriormente
	87	ATIVIDADES DE ATENÇÃO À SAÚDE HUMANA INTEGRADAS COM ASSISTÊNCIA SOCIAL, PRESTADAS EM RESIDÊNCIAS COLETIVAS E PARTICULARES		
		87.1	2	Atividades de assistência a idosos, deficientes físicos, imunodeprimidos e convalescentes, e de infra-estrutura e apoio a pacientes prestadas em residências coletivas e particulares
		87.2	1	Atividades de assistência psicossocial e à saúde a portadores de distúrbios psíquicos, deficiência mental e dependência química
		87.3	1	Atividades de assistência social prestadas em residências coletivas e particulares

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas na Seção Q – Saúde humana e Serviços Sociais foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 162; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 163; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 164 e Figura 134.

Quadro 162. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Q – Saúde humana e Serviços Sociais nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas Marítimas na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Aleixo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção Q - Saúde Humana e Serviços Sociais		6.458	823	1.540	262	1.786	1	4.840	6.674	160	0	26	1.672	34	105	64	**24.445**

Quadro 163. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Q – Saúde humana e Serviços Sociais nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	
Seção Q - Saúde Humana e Serviços Sociais		35	174	335	118	**662**

Quadro 164. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção Q – Saúde humana e Serviços Sociais nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	**INEA**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**Total de pessoas jurídicas ativas e inativas**
Bacia Hidrográfica / **Seção CNAE**		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracui	Contribuintes a Enseada do Bracui	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	
Seção Q - Saúde Humana e Serviços Sociais		34	19	2	12	112	43		**222**

8.2.14.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção Q – Saúde Humana e Serviços Sociais

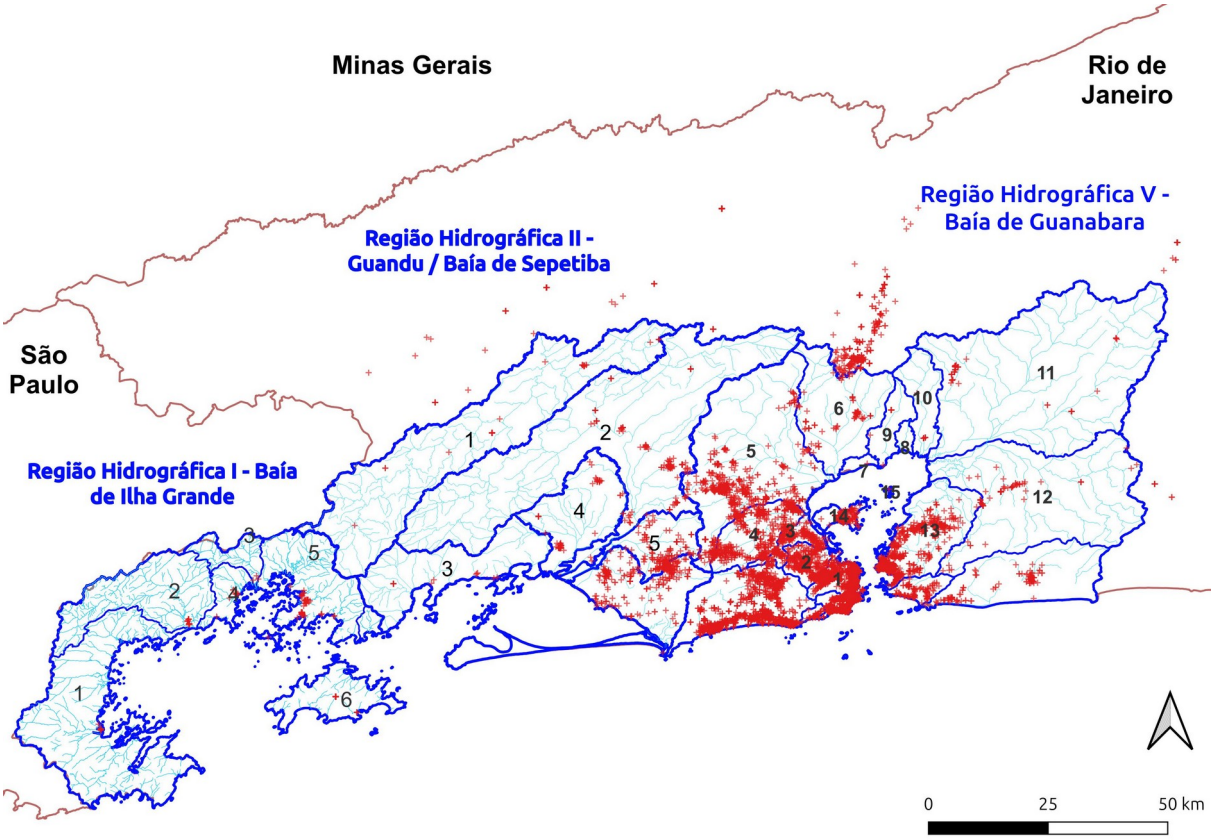


Figura 134. Pessoas jurídicas na Seção Q – Saúde Humana e Serviços Sociais, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

8.2.14.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção Q – Saúde Humana e Serviços Sociais

Resumo dos metais pesados potencialmente introduzidos por cada um dos Grupos e Divisões da Seção Q – Saúde Humana e Serviços Sociais, Quadro 165.

Referências consultadas (Deguenon et al., 2022; Al Satar; Sachit, 2021; Amanfo; Nyarko; Jaime, 2014; International Finance Corporation, 2007; Jiao et al., 2023; Partal; Murat Hocaoglu; Yigit, 2024; Anyakora et al., 2011).

Quadro 165. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção Q – Saúde Humana e Serviços Sociais.

Seção Q – Saúde humana e serviços sociais														
Atividades e Tipos de uso	Metal pesado Aportado	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco	Causa / Fonte	Referências
		As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn		
Área emersa	Serviços de saúde		■	■					■			Contraste para radiografia, catabólitos, material para limpeza e reagentes laboratoriais	Deguenon et al., 2022
			■	■	■	■		■	■		■	Uso intensivo de antibióticos com metais pesados alterou significativamente a qualidade das águas	Al Satar e Sachit, 2021
							■	■			■	Efluentes de diferentes áreas de um hospital apresentaram concentrações de metais pesados relacionados com as respectivas ativivdades	Amanfo et al., 2014
		■	■	■			■					Metais pesados que necessitam atenção especial de acordo com o Manual de Boas Práticas do Banco Mundial	International Finance Corporation, 2007
					■		■			■	■	Efluentes de clínicas dentárias, diversos dos serviços hospitalares, também apresenta elevada carga de metais pesados	Jiao et al., 2023
			■	■	■		■		■		■	Efluentes de serviços da saúde assumem papel importante ao considerar a toxicidade potencial que apresentam para os sistemas de tratamento biológico de efluentes tendo em conta a carga de poluentes microbiológicos e químicos que apresentam	Partal et al., 2024
			■	■	■	■			■			Análise de efluentes de nove laboratórios farmacèuticos em Lagos, Nigéria	Anyakora et al., 2011

8.2.15. Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação

Reúne ampla variedade de atividades destinadas a satisfazer os interesses culturais, de entretenimento e recreativos da população por meio da produção e promoção de artes cênicas e espetáculos, inclusive com atuações ao vivo, além de iniciativas como bibliotecas, arquivos, museus, atividades esportivas, recreação e lazer, exploração de apostas e jogos de azar.

Abarca atividades ligadas ao patrimônio cultural e ambiental, à gestão de jardins botânicos, zoológicos, parques nacionais, reservas ecológicas e áreas de proteção ambiental.

Bem como, no rol das atividades esportivas e de recreação e lazer, a gestão das pistas e circuitos para esportes motorizados como corridas de automóveis, motocicletas e karts, além de hipódromos e centros de equitação, apoio à pesca e caça esportiva.

A Seção R conta com quatro Divisões (90 a 93), cinco Grupos, 13 Classes e 28 Subclasses ou tipos de atividades, com diversas delas presentes na RH V, II e I, Quadro 166.

Quadro 166. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
R	ARTES, CULTURA, ESPORTE E RECREAÇÃO			
	91	ATIVIDADES LIGADAS AO PATRIMÔNIO CULTURAL E AMBIENTAL		
		91.0	3	Atividades ligadas ao patrimônio cultural e ambiental
	93	ATIVIDADES ESPORTIVAS E DE RECREAÇÃO E LAZER		
		93.1	4	Atividades esportivas

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas nessa Seção foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 167; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 168; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 169 e Figura 135.

Quadro 167. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara.

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas ~~Marítimas~~ na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Cacenbu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Aleixo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção R - Artes, Cultura, Esporte e Recreação		19	1	4	0	3	0	6	8	0	0	1	2	1	0	0	**45**

Quadro 168. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção R - Artes, Cultura, Esporte e Recreação		0	2	3	0	**5**

Quadro 169. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	INEA	1	2	3	4	5	6	7	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracui	Contribuintes a Enseada do Bracui	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Seção R - Artes, Cultura, Esporte e Recreação		1	0	0	0	0	1		**2**

8.2.15.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação

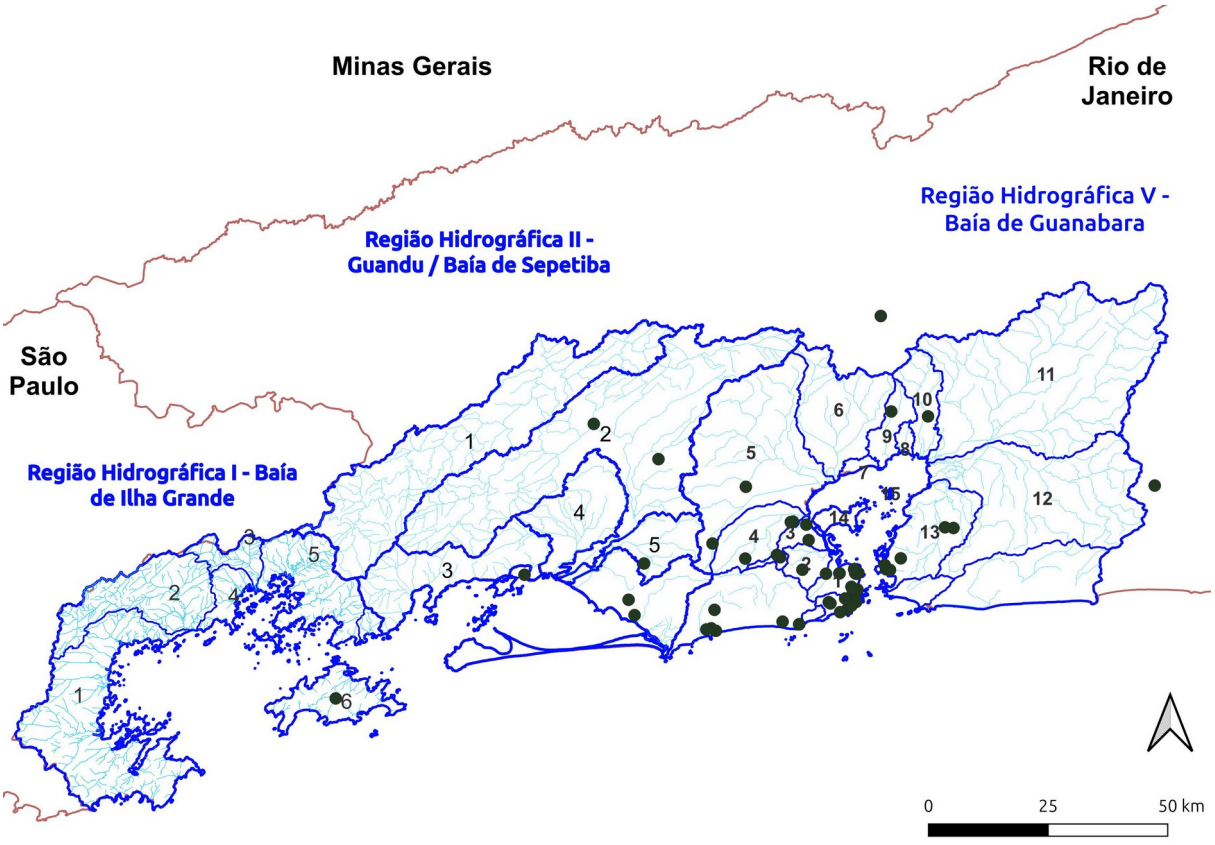


Figura 135. Pessoas jurídicas na Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

8.2.15.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação

Metais pesados potencialmente introduzidos pela Divisão 91 da Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação, Quadro 170.

Referências consultadas (Moreno et al., 2010; Rindelaub et al., 2021).

Quadro 170. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação.

Seção R – Artes, cultura, esporte e recreação													
Atividades e Tipos de uso / Metal pesado Aportado		Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco	Causa / Fonte	Referências
		As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn		
Área emersa	Shows pirotécnicos	■	■	■	■				■		■	Fogos de artifício provocam intenso aumento do material particulado, metais pesados e fumaça gerada. Há correlação entre esses eventos, alterações ambientais e danos para a saúde humana na Espanha	Moreno et al., 2010
		■	■		■	■		■	■		■	Metais pesados podem ser componentes maiores, como Cu, ou menores, como os demais, lançados no meio por ocasião da utilização	Rindelaub et al.,2021
	Competições de veículos motorizados	■	■	■	■	■		■	■		■	Ver Seção G e H	

.

8.2.16. Seção S – Outras Atividades de Serviços

Compreende ampla variedade de serviços pessoais afeitos a organizações associativas patronais, empresariais, profissionais, sindicais, de defesa de direitos sociais, religiosas e políticas, dentre outros. Além de atividades de manutenção e reparação de equipamentos de informática, comunicação, objetos pessoais e domésticos.

O grande leque de serviços prestados abarca lavanderias, cabeleireiros e outras atividades de tratamento de beleza, clínicas de estética e atividades funerárias, dentre outros, tornando essa Seção bastante diversa (Comissão Nacional de Classificação - CONCLA, 2015b).

A Seção S conta com três Divisões (94 a 96), sete Grupos, 16 Classes e 34 Subclasses ou tipos de atividades, com diversas delas presentes na RH V, II e I, Quadro 171.

Quadro 171. Seções, Divisões, Grupos, Classes e Subclasses da Seção S – Outras Atividades de Serviços. Fonte: adaptado de Comissão Nacional de Classificação – CONCLA (2015c).

Seção	Divisão	Grupo	N° de Classes	Denominação
S	OUTRAS ATIVIDADES DE SERVIÇOS			
	95	REPARAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE INFORMÁTICA E COMUNICAÇÃO E DE OBJETOS PESSOAIS E DOMÉSTICOS		
		95.1	2	Reparação e manutenção de equipamentos de informática e comunicação
		95.2	2	Reparação e manutenção de objetos e equipamentos pessoais e domésticos
	96	OUTRAS ATIVIDADES DE SERVIÇOS PESSOAIS		
		96.0	4	Outras atividades de serviços pessoais

As pessoas jurídicas ativas e inativas incluídas na Seção S – Outras Atividades de Serviços foram agrupadas nas bacias hidrográficas de cada uma das regiões hidrográficas consideradas: V – Baía de Guanabara, Quadro 172; II – Guandu/Baía de Sepetiba, Quadro 173; e I – Baía de Ilha Grande, Quadro 174 e Figura 136.

Quadro 172. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção S – Outras Atividades de Serviços nos municípios inscritos na RH V – Baía de Guanabara

Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara																	
Código	INEA	88	85	77	72	71	69	67	66	63	62	58	55	54	53	46	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
	Atlas RH V	2	7 e 6		8	9	18	19	12	17	14	13	10	15	11	16	
	Este estudo	1	2	3	14	4	15	13	7	12	8	9	5	10	6	11	
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Vertente Norte da Serra da Carioca	Faria – Timbó	Irajá	Ilha do Governador	Pavuna – Meriti	Ilhas Marítimas na Baía	Guaxindiba – Alcântara	Contribuintes das lagoas	Caceribu	Iriri	Suruí	Iguaçu	Roncador ou Santo Alexo	Estrela, Inhomirim, Saracuruna	Guapimirim – Macacu	
Seção S - Outras Atividades e Serviços		12.736	9.187	8.390	1.980	15.548	24	13.874	17.092	1.895	11	469	16.234	275	1.731	643	**100.089**

Quadro 173. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção S – Outras Atividades de Serviços nos municípios inscritos na RH II – Guandu/Baía de Sepetiba.

Região Hidrográfica II – Guandu / Baía de Sepetiba						
Código	INEA	1	2	3	4	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Rio Piraí	Rio Guandu	Litorâneas	Rio da Guarda	
Seção S - Outras Atividades e Serviços		385	2.635	7.262	1.020	**11.302**

Quadro 174. Número de pessoas jurídicas ativas e inativas atuantes na Seção S – Outras Atividades de Serviços nos municípios inscritos na RH I – Baía de Ilha Grande.

Região Hidrográfica I – Baía de Ilha Grande									
Código bacias hidrográficas	INEA	1	2	3	4	5	6	7	Total de pessoas jurídicas ativas e inativas
Bacia Hidrográfica / Seção CNAE		Contribuintes a Baía de Paraty	Rio Mambucaba	Rio Bracuí	Contribuintes a Enseada do Bracuí	Contribuintes a Baía da Ribeira	Ilha Grande	Ilhas marítimas	
Seção S - Outras Atividades e Serviços		329	250	38	114	803	274		**1.808**

8.2.16.1. Mapa síntese das atividades econômicas realizadas por pessoas jurídicas ativas e inativas agrupadas nas Divisões da Seção S – Outras Atividades de Serviços

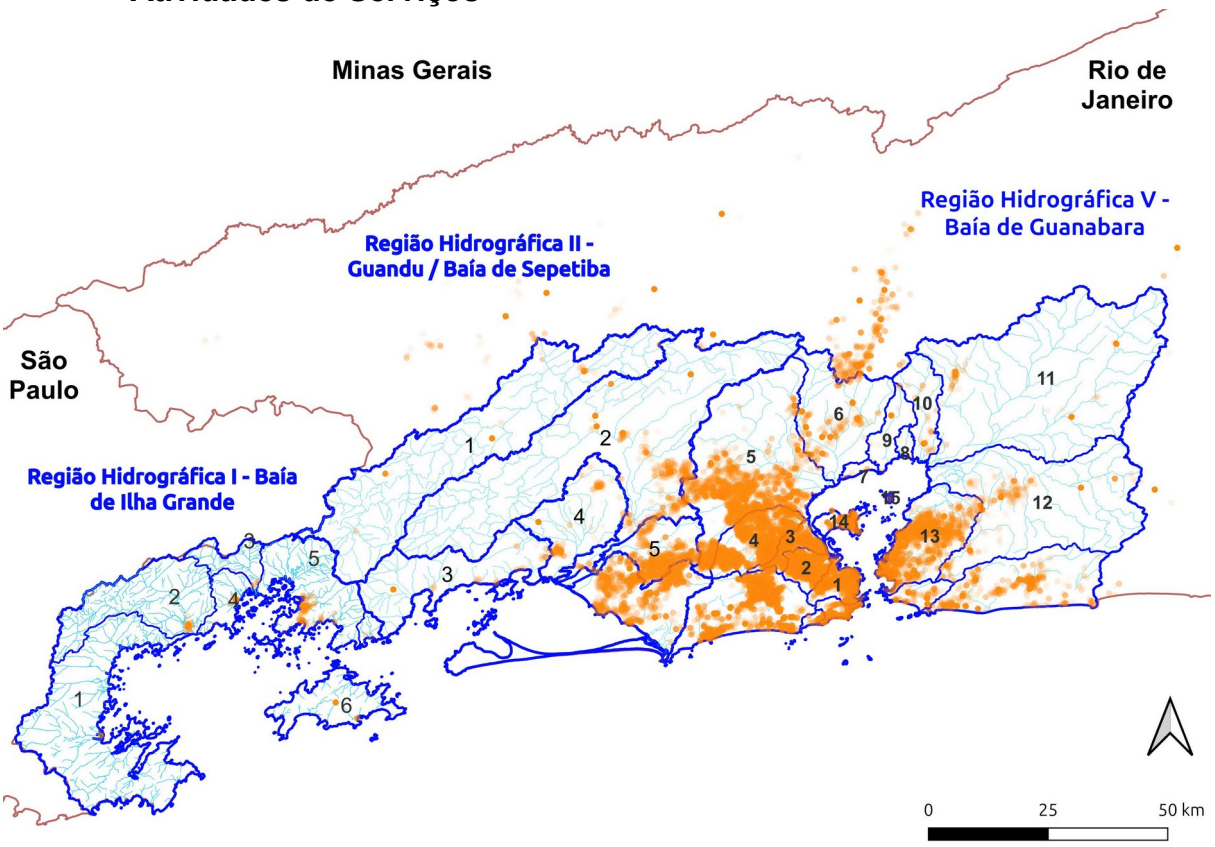


Figura 136. Pessoas jurídicas na Seção S – Outras Atividades de Serviços, sediadas nos municípios total ou parcialmente inscritos nos territórios das regiões hidrográficas V – Baía de Guanabara, II – Guandu/Baía de Sepetiba e I – Baía de Ilha Grande.

8.2.16.2. Resumo dos metais pesados introduzidos pelas principais atividades econômicas da Seção S – Outras Atividades de Serviços

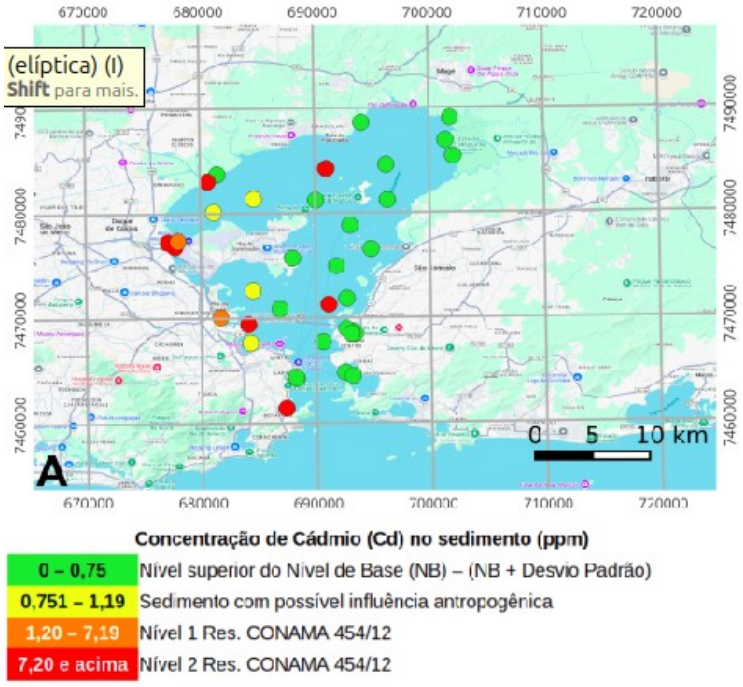
Metais pesados potencialmente introduzidos por cada um dos Grupos e Divisões da Seção S – **Outras Atividades de Serviços**, Quadro 175.

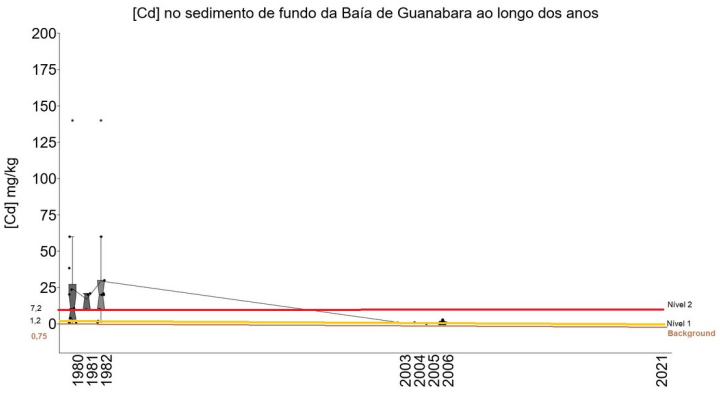
Referências consultadas (Pibul; Jawjit; Yimthiang, 2023; Ibe et al., 2018; Ngbejume; Anegbe; Okafor, 2022; Kim et al., 2024; Iwegbue et al., 2019; Jenkins; Russell, 1994; Turner, 2019; Akter; Rahman; Chowdhury, 1998; Ullah et al., 2025; Ćwieląg-Drabek; Furman; Gut-Pietrasz, 2025; Eghbali; Mousavi; Ziarati, 2014; Serup; Kluger; Bäumler, 2015; Baum et al., 2021; Franco et al., 2022; Ilaboya, 2024).

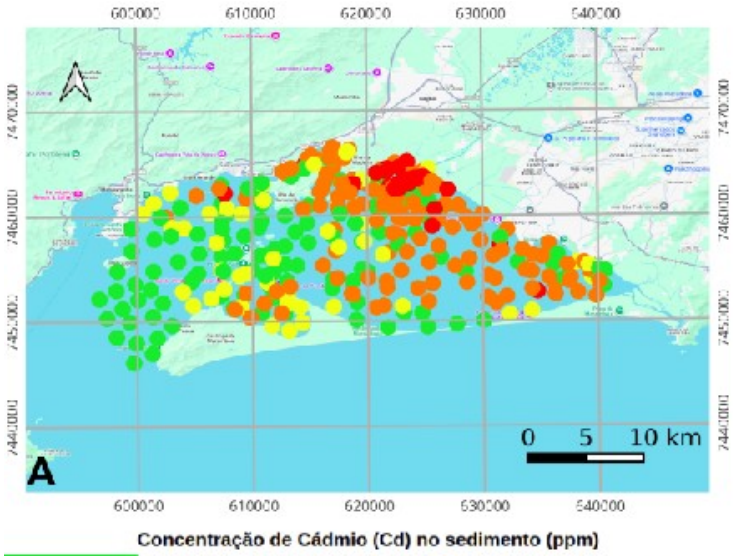
Quadro 175. Metais pesados introduzidos por diferentes atividades da Seção R – Artes, Cultura, Esporte e Recreação.

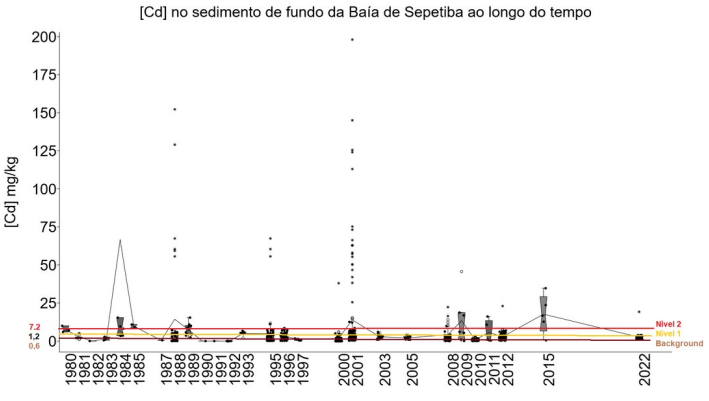
Seção S – Outras atividades de serviços														
Atividades e Tipos de uso		Metal pesado Aportado	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cobre	Cromo	Mercúrio	Manganês	Níquel	Estanho	Zinco	Causa / Fonte	Referências
			As	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mn	Ni	Sn	Zn		
Área emersa	Manutenção, reparo, recondicionamento, desmonte e reciclagem de equipamentos de informática		■	■	■					■			Análise de 12 lojas para conserto e oito de desmonte de equipamentos elétricos e eletrônicos na Tailândia constatou que a concentração de metais pesados era maior no tempo seco e do que na estação úmida, indicando que em mais de 16% das lojas de conserto e 36% das lojas de conserto os níveis de contaminação estavam acima do indicado.	Pibul et al., 2023
				■	■	■	■			■		■	Análise da sete amostras poeira das ruas de região com diversas lojas de reparo, reaproveitamento e desmanche de equipamentos eletrônicos em janeiro de 2014, período seco, na Nitgéria, demonstrou que os resultados, ainda que não ofereçam risco à saúde das crianças e adultos expostos, podem apresentar risco ambiental se as partes não utilizadas não forem descartadas adequadamente	Ibe et al., 2018
				■	■	■				■		■	Amostras de solo situadas próximas a lojas para reparo de equipamentos eletrônicos em Benin, Nigéria, apresentaram maior concentração de metais pesados que as áreas de controle situadas a maior distância. O fator de Contaminação de todos metais analisados, com exceção de Cd, excedem o limite indicando que os solos estão contaminados	Ngbejume et al., 2022
				■	■		■		■	■		■	Presentes em diferentes tipos de produtos para limpeza doméstica	Kim et al., 2024
				■	■		■		■	■		■	Análise de produtos de limpeza disponíveis no mercado, na Nigéria, demonstrou que os metais pesados presentes na formulação estão em valores abaixo do limite permissível, possivelmente não causando problemas à saúde mas podendo impactar o ambiente	Iwegbue et al., 2019
			■	■			■			■			Avaliação da contribuição de residências com metais pesados para o sistema de tratamento de esgoto em municípios no entorno da Baía de São Francisco, Califórnia	Jenkins e Russell, 1994
	Lavanderias		■		■	■				■		■	Fiapos de roupas no filtro de secadoras de roupas podem indicar fontes de metais pesados associados à fórmula do tecido utilizado e/ou hábitos e ambiente de trabalho dos usuários	Turner, 2019
	Tinturarias			■		■						■	Serigrafia	Akter et al., 1998
	Cabeleiros, salões de beleza e procedimentos estéticos			■	■	■	■			■			Alisante capilar, Nigéria	Umar and Caleb, 2013; Odukudu et al., 2014
				■	■	■	■			■			Creme capilar, Nigéria	
				■	■								Shampoo, Índia	Chauhan et al., 2010
				■	■		■			■			Shampoo, Nigéria	Umar and Caleb, 2013; Odukudu et al., 2014
				■	■	■				■			Shampoo, Paquistão	Ullah et al., 2013
				■	■	■				■			Shampoo, Arábia Saudita	Ullah et al., 2013
				■	■	■				■			Shampo, Emirados Árabes Unidos	Ullah et al., 2013
				■	■		■			■			Condicionador capitar, Nigéira	Umar and Caleb, 2013
				■	■	■				■			Pomada capilar, Gana	Amartey et al., 2011
							■						Tintura capilar, Arábia Saudita	Gondal et al., 2013; Gondal et al., 2014
	Tatuagem		■		■	■	■						Análise de 41 amostras (tinta para tatuagem, adesivos, tatuagem e maquiagem permanente além de apenas maquiagem permanente) demonstrou que diversas das comercializadas podem oferecer riscos crônicos e agudos para os usuários.	Ćwieląg-Drabek et al., 2025
				■	■							■	Análise de 100 amostras de 12 diferentes marcas de tinta para tatuagem disponíveis no mercado iraniano apresentam concentrações variáveis de metais pesados na dependência da cor e do fabricante de cada uma delas	Eghbali et al., 2014
			■	■	■		■	■		■			Os metais pesados são utilizados em pigmentos amarelos (sulfeto de cádmio), vermelho (sulfeto de mercúrio) e verde (óxido de cromo).	Serup et al., 2015
	Atividades funerárias			■	■	■	■			■		■	Amostras de solo coletadas em cemitério e áreas adjacentes não influenciadas e consideradas como controle, demonstraram que todos os metais estavam abaixo dos níveis definidos pela Resolução CONAMA n° 420/2009	Baum et al., 2021
			■		■	■						■	Revisão bibliográfica identificou os metais pesados avaliados em dez cemitérios e crematórios em diversos países e, particularmente, no Brasil.	Franco et al., 2022
						■				■	■	■	Análise de amostras de solo coletadas em solos urbanos no entorno de cemitérios em Benin, Nigéria, possibilitaram constatar que a concentração dos metais pesados apontados atingiam níveis preocupantes ao considerar as referências disponíveis	Ilaboya et al. - 2024

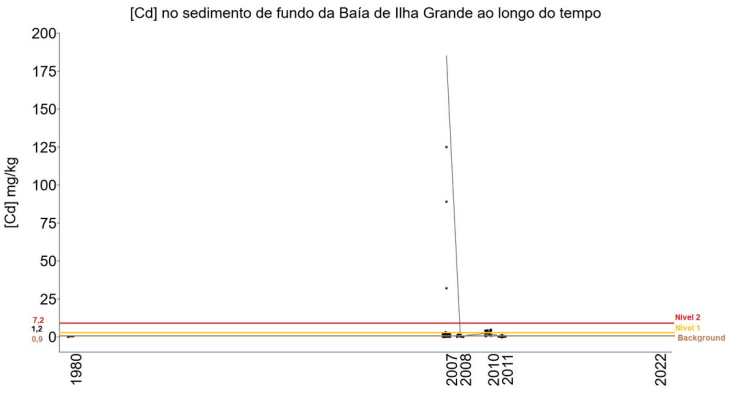
8.3. Apêndice 3 - Mapas com pontos de coleta e gráficos box plots para avaliação e comparação do comportamento espaço-temporal da concentração de metais pesados no sedimento de fundo das baías estudadas



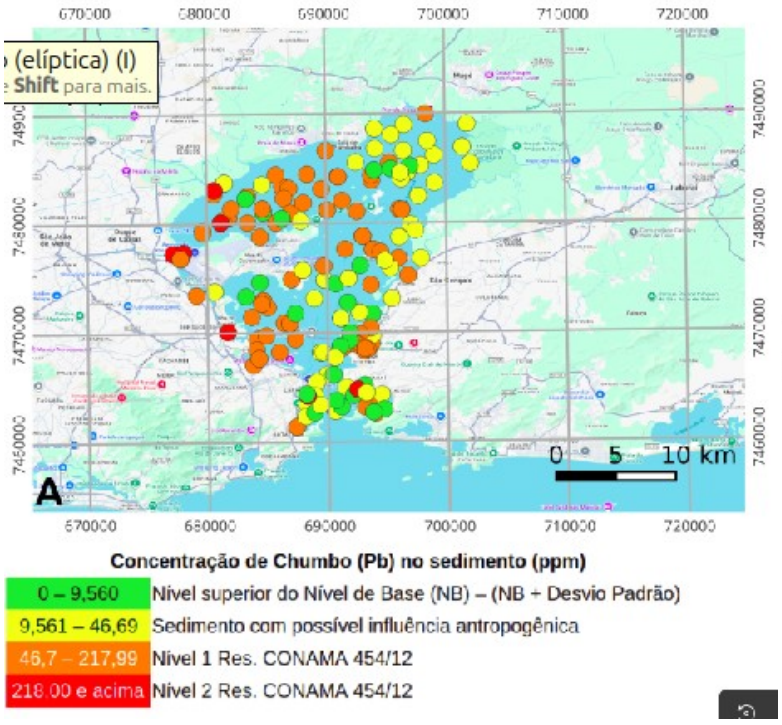


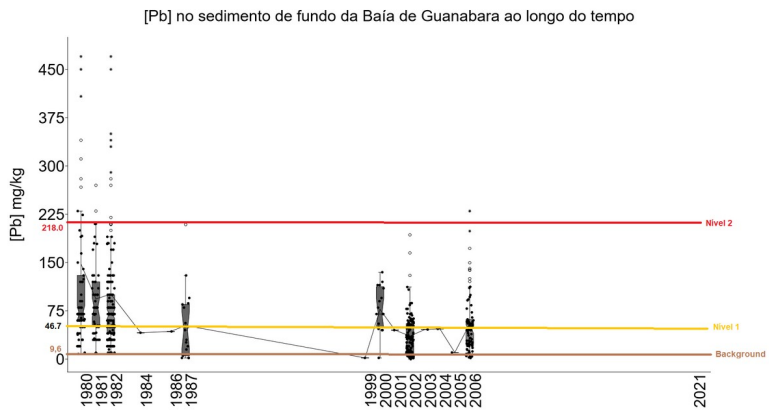


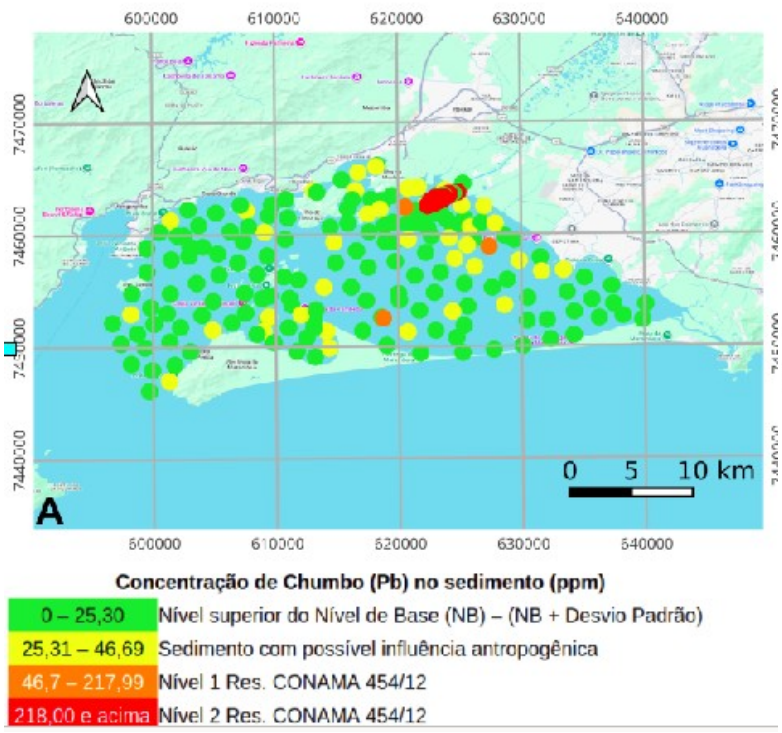


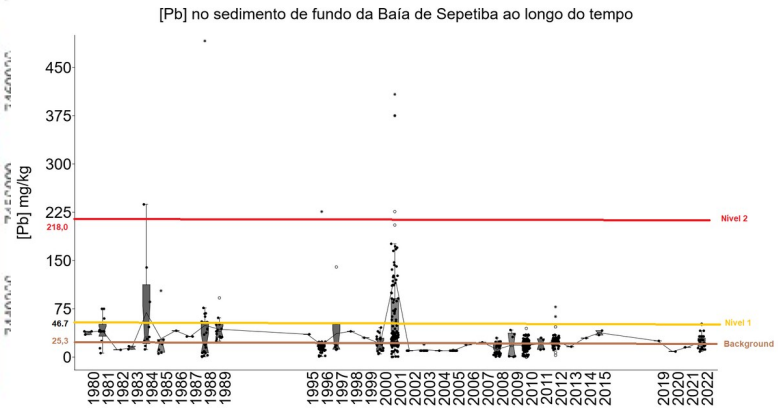


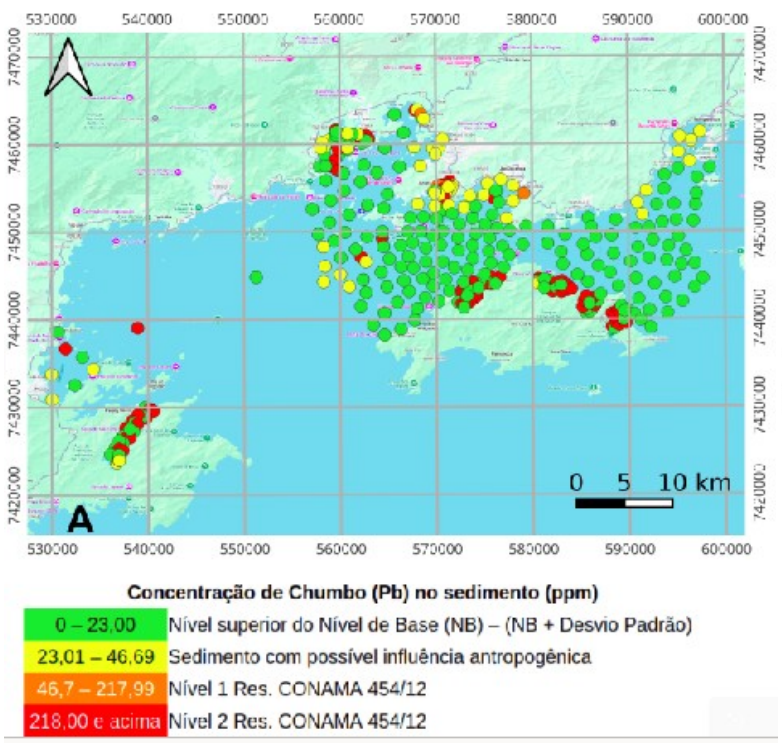
Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **cádmio (Cd)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.

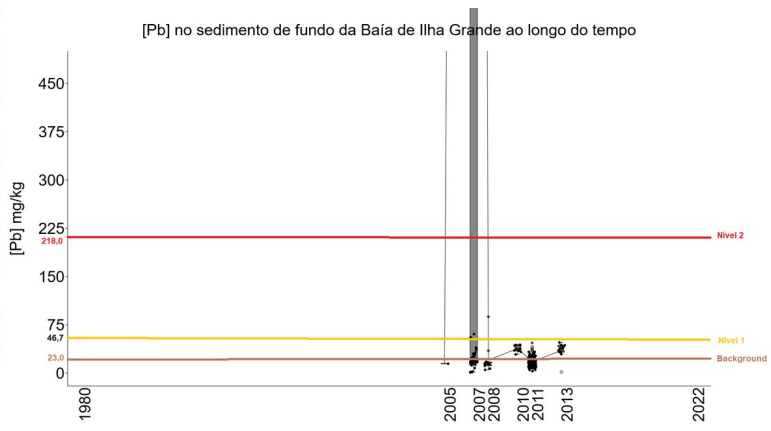




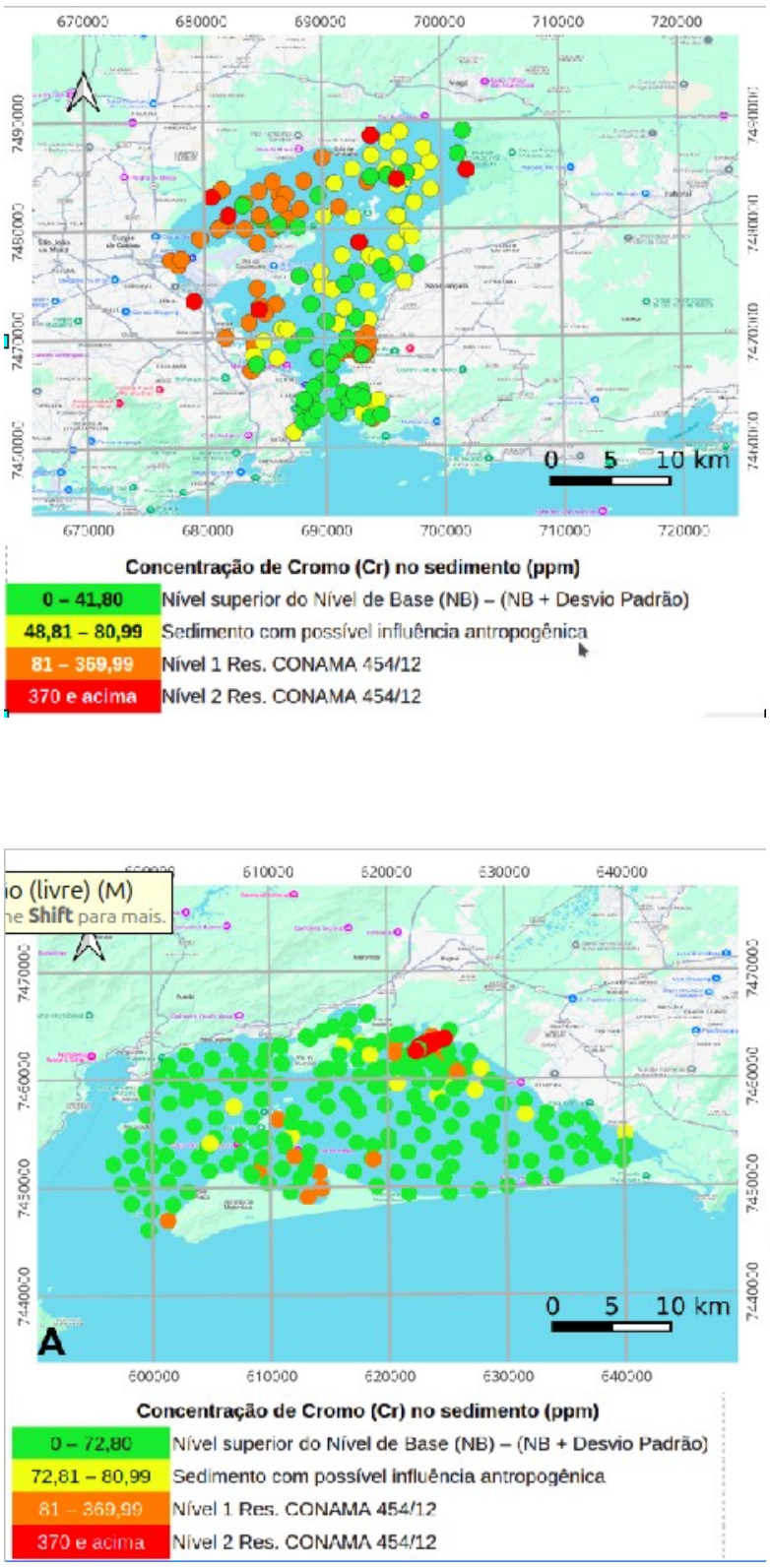


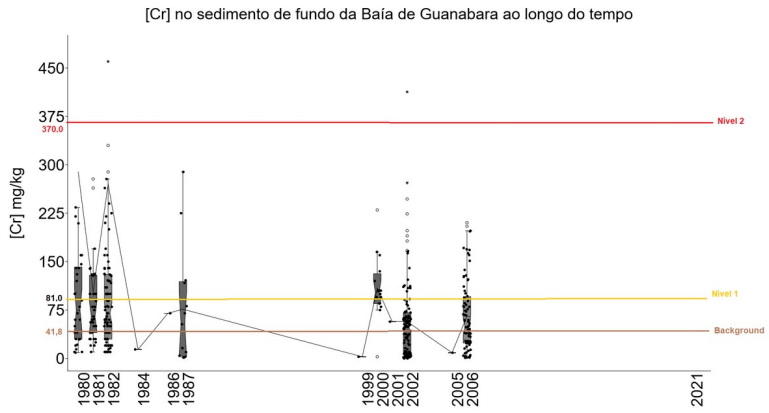


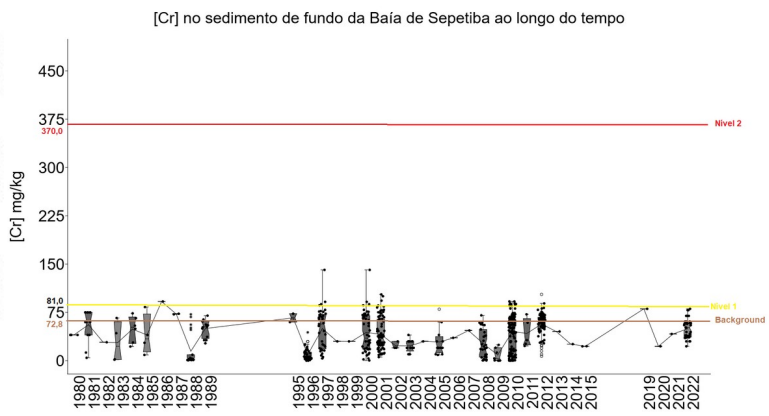


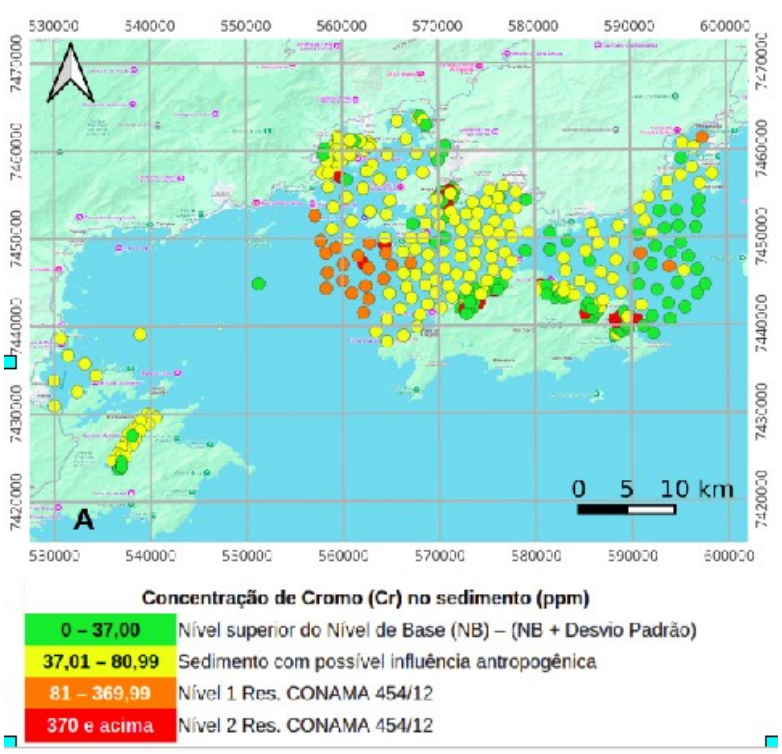


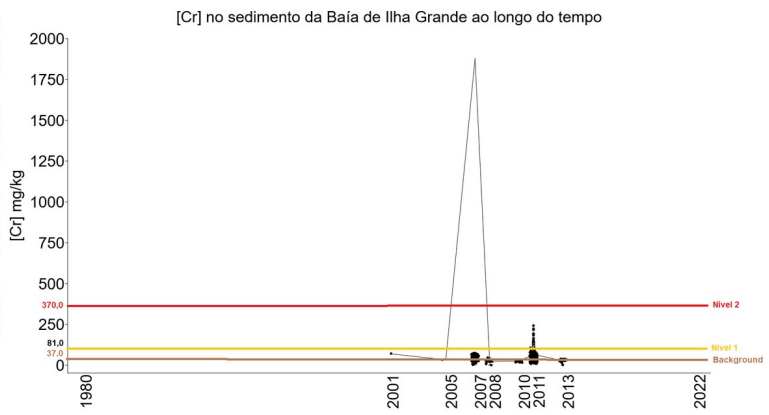
Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **chumbo (Pb)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.



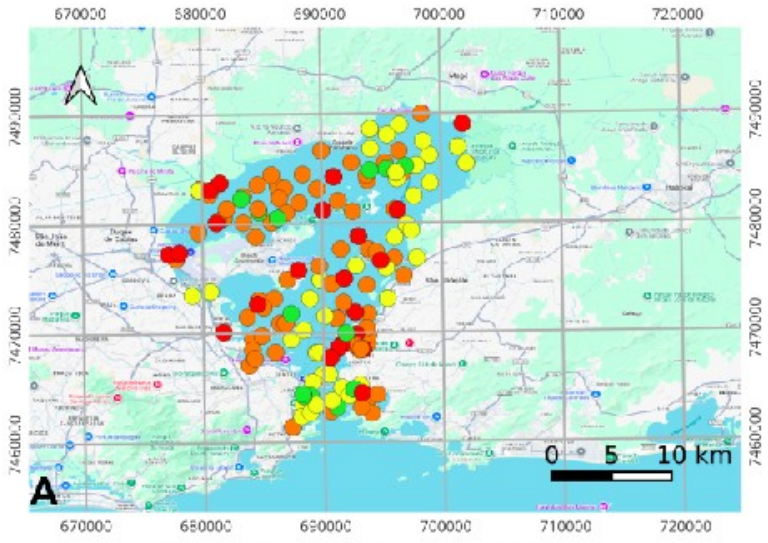






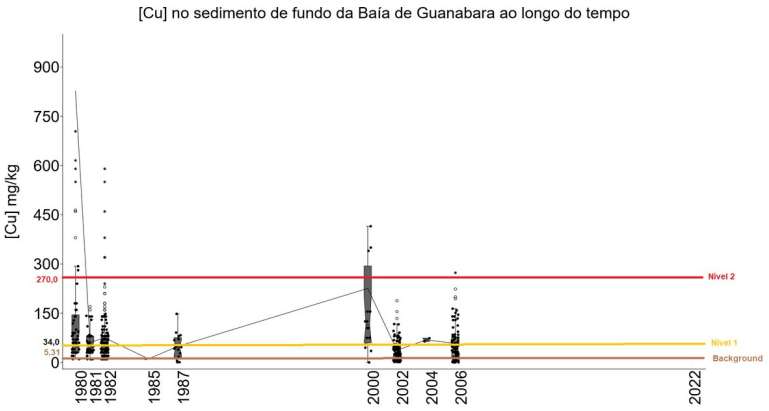


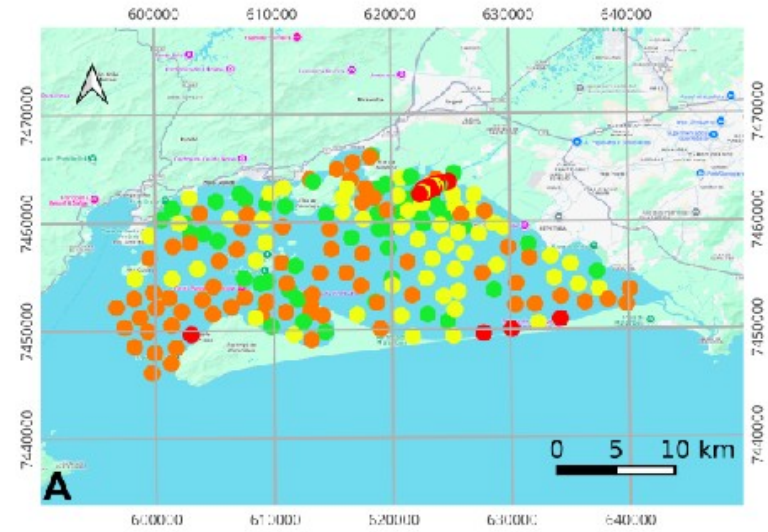
Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **cromo (Cr)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.



Concentração de Cobre (Cu) no sedimento (ppm)

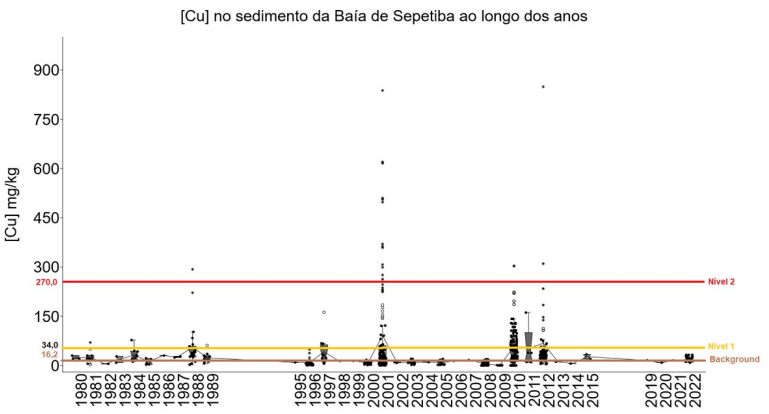
0 – 5,31	Nível superior do Nível de Base (NB) – (NB + Desvio Padrão)
5,311 – 33,99	Sedimento com possível influência antropogênica
34 – 269,99	Nível 1 Res. CONAMA 454/12
270 e acima	Nível 2 Res. CONAMA 454/12

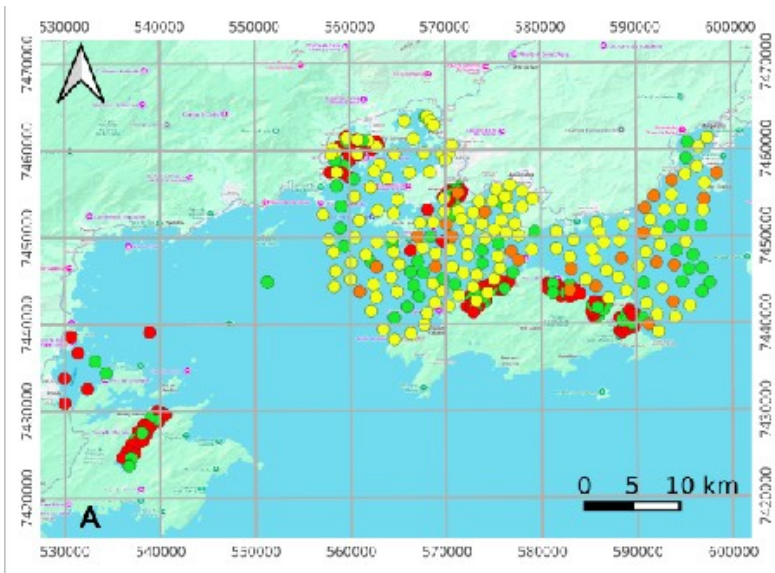




Concentração de Cobre (Cu) no sedimento (ppm)

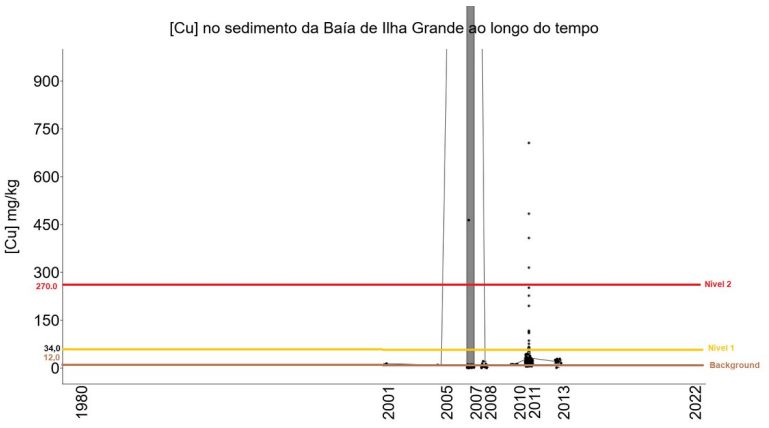
0 – 16,20	Nível superior do Nível de Base (NB) – (NB + Desvio Padrão)
16,21 – 33,99	Sedimento com possível influência antropogênica
34 – 269,99	Nível 1 Res. CONAMA 454/12
270 e acima	Nível 2 Res. CONAMA 454/12



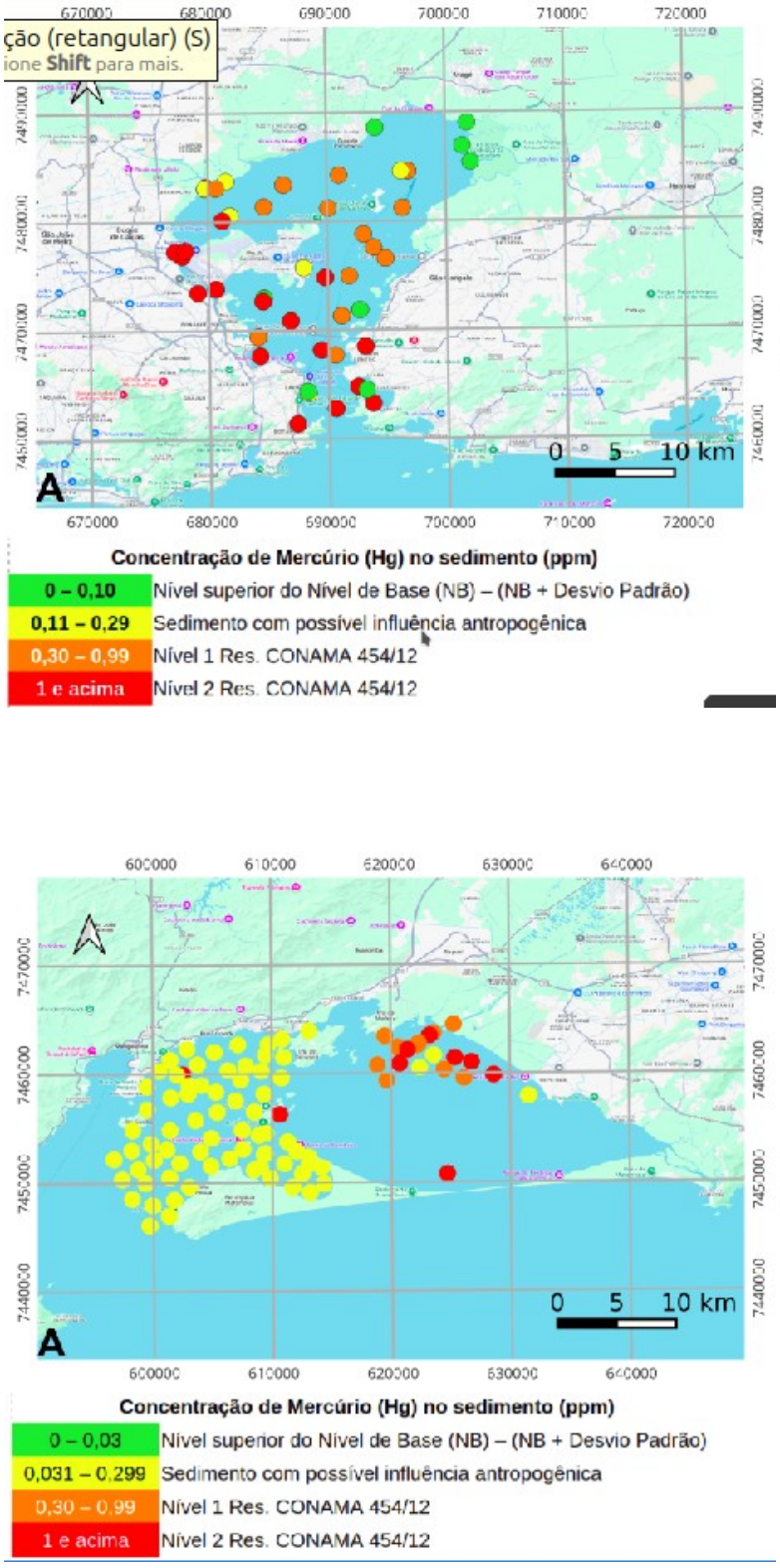


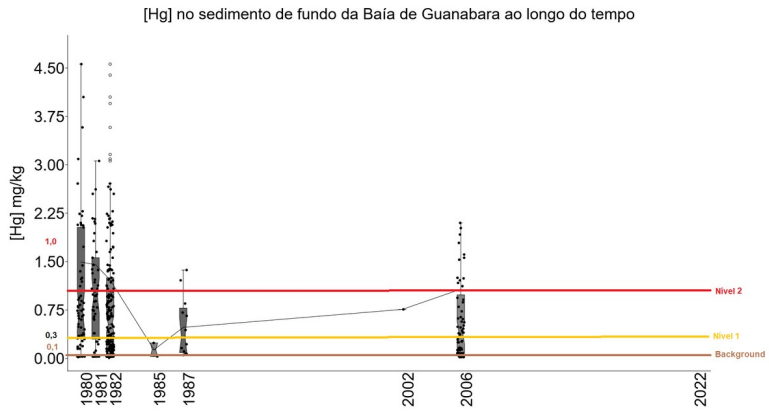
Concentração de Cobre (Cu) no sedimento (ppm)

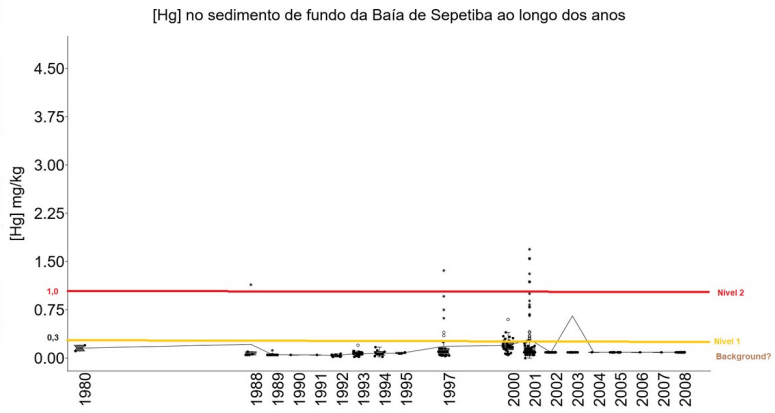
0 – 12,10	Nível superior do Nível de Base (NB) – (NB + Desvio Padrão)
12,11 – 33,99	Sedimento com possível influência antropogênica
34 – 269,99	Nível 1 Res. CONAMA 454/12
270 e acima	Nível 2 Res. CONAMA 454/12

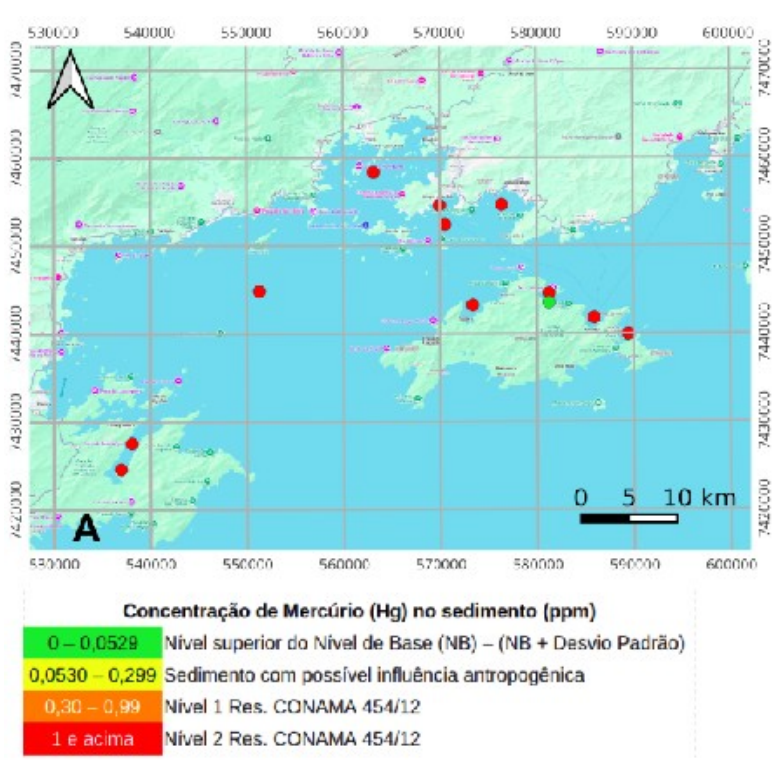


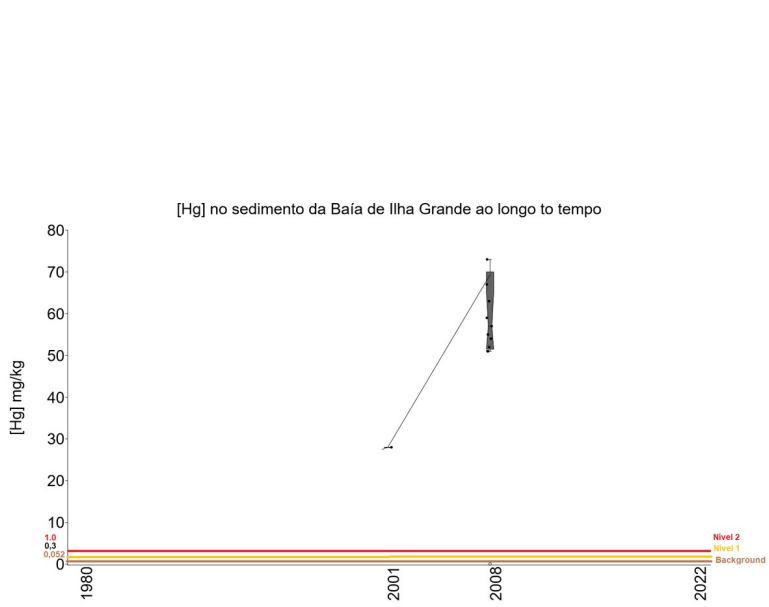
Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **cobre (Cu)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.



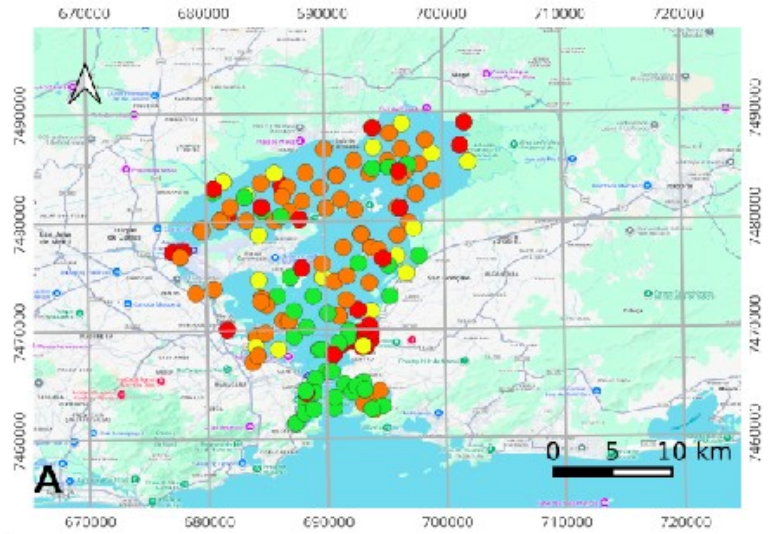






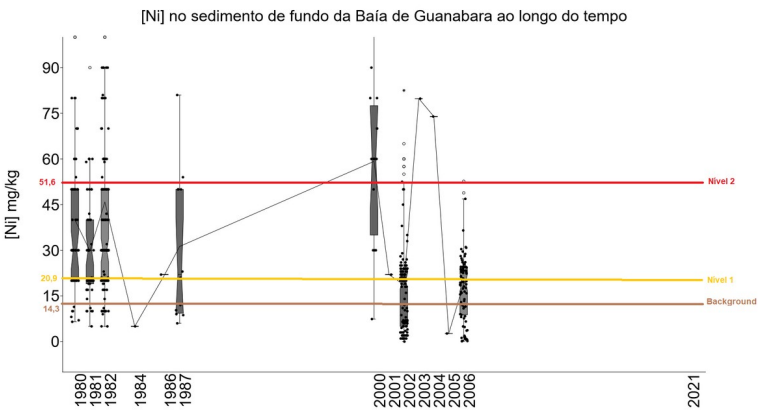


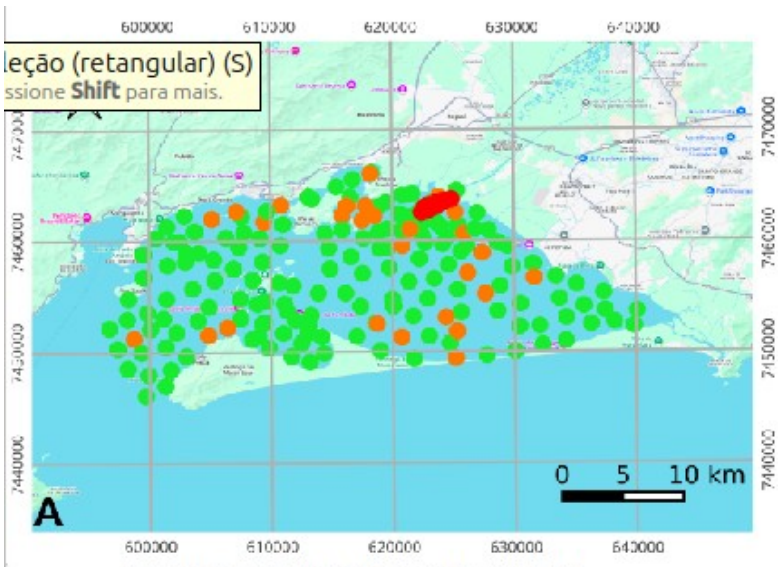
Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **mercúrio (Hg)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.



Concentração de Níquel (Ni) no sedimento (ppm)

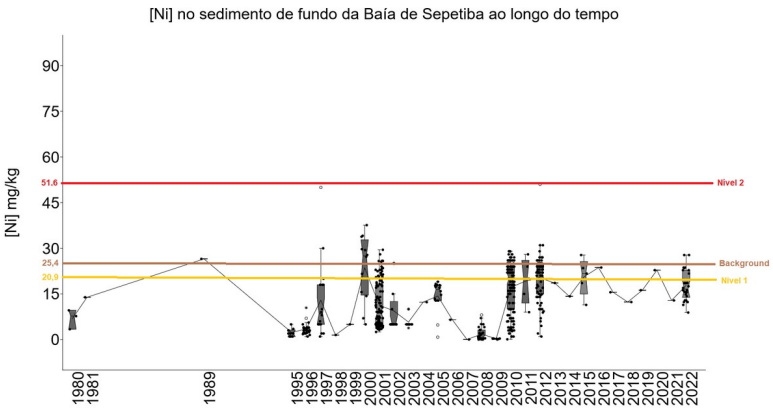
0 – 14,34	Nível superior do Nível de Base (NB) – (NB + Desvio Padrão)
14,341 – 20,89	Sedimento com possível influência antropogênica
20,90 – 51,59	Nível 1 Res. CONAMA 454/12
51,60 e acima	Nível 2 Res. CONAMA 454/12

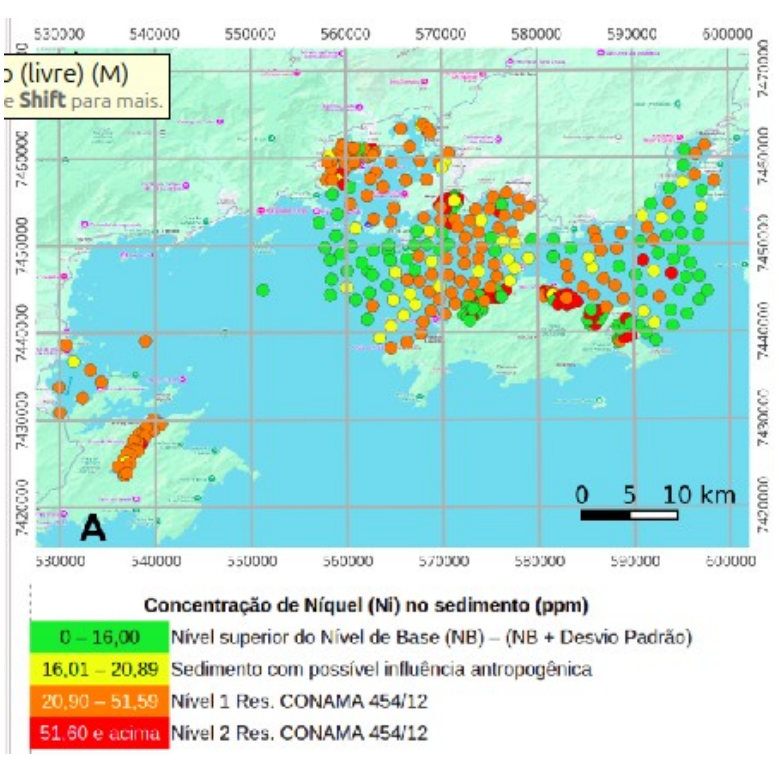




Concentração de Níquel (Ni) no sedimento (ppm)

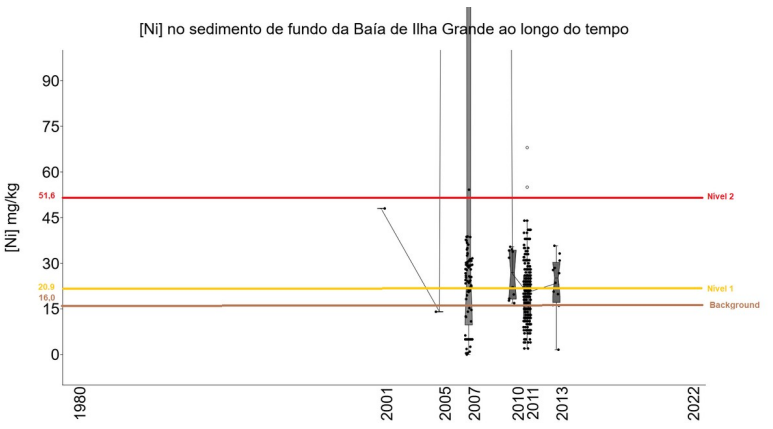
0 – 25,40	Nível superior do Nível de Base (NB) – (NB + Desvio Padrão)
25,41 – 20,89	Sedimento com possível influência antropogênica
20,90 – 51,59	Nível 1 Res. CONAMA 454/12
51,60 e acima	Nível 2 Res. CONAMA 454/12



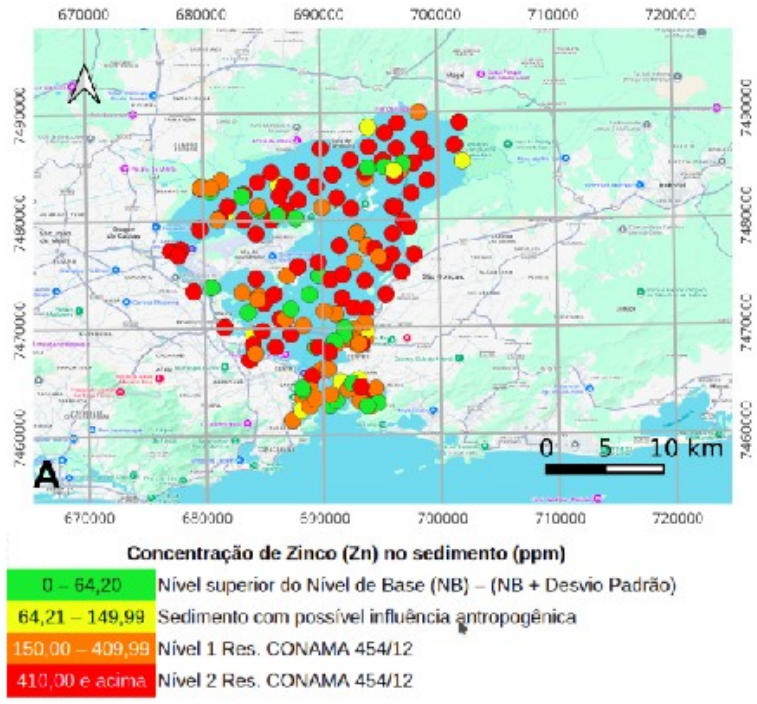


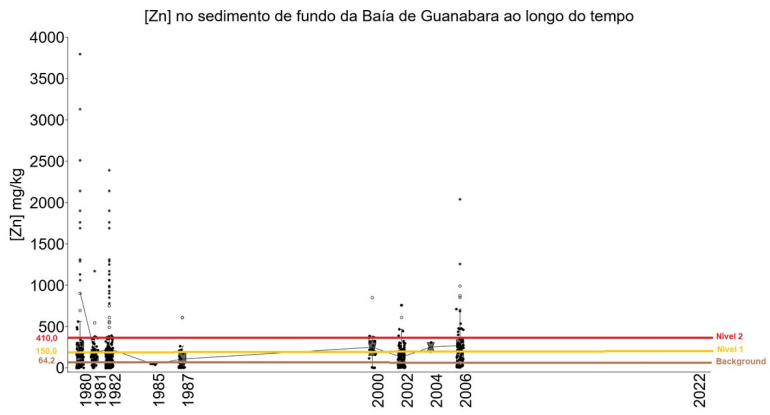
Concentração de Níquel (Ni) no sedimento (ppm)

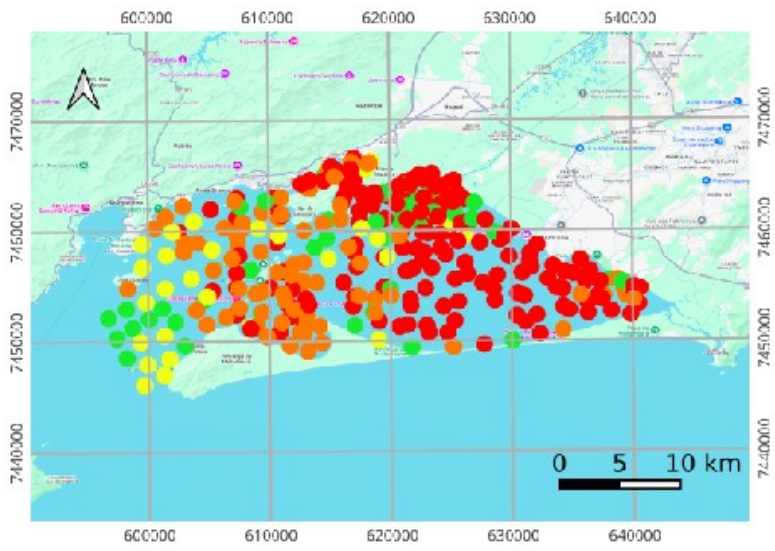
0 – 16,00	Nível superior do Nível de Base (NB) – (NB + Desvio Padrão)
16,01 – 20,89	Sedimento com possível influência antropogênica
20,90 – 51,59	Nível 1 Res. CONAMA 454/12
51,60 e acima	Nível 2 Res. CONAMA 454/12

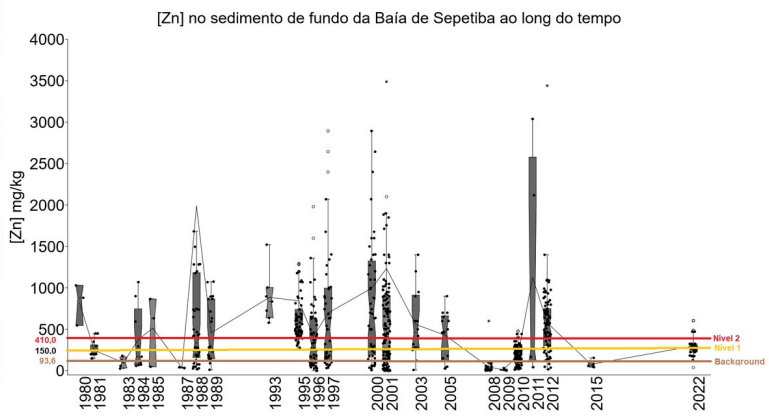


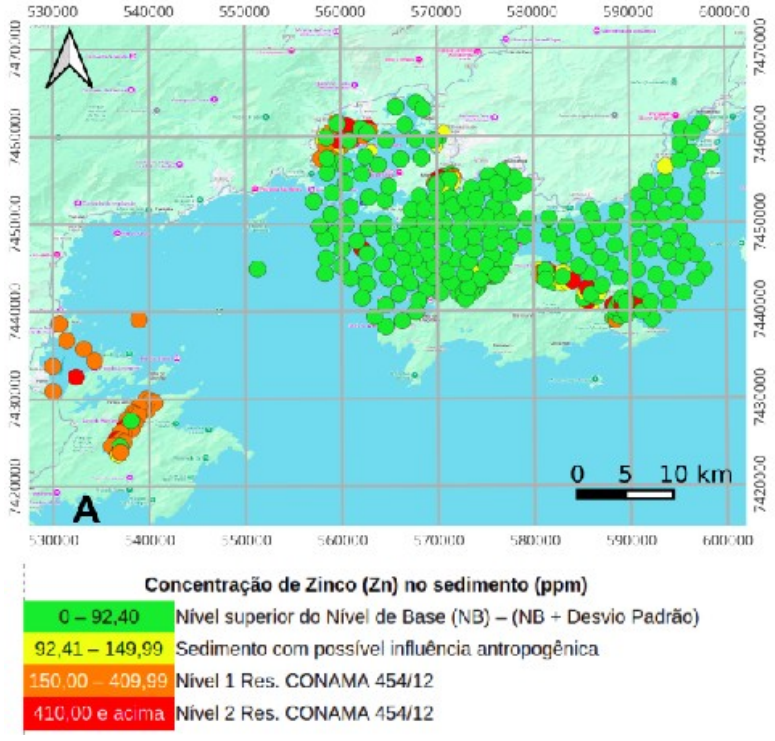
Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **níquel (Ni)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.

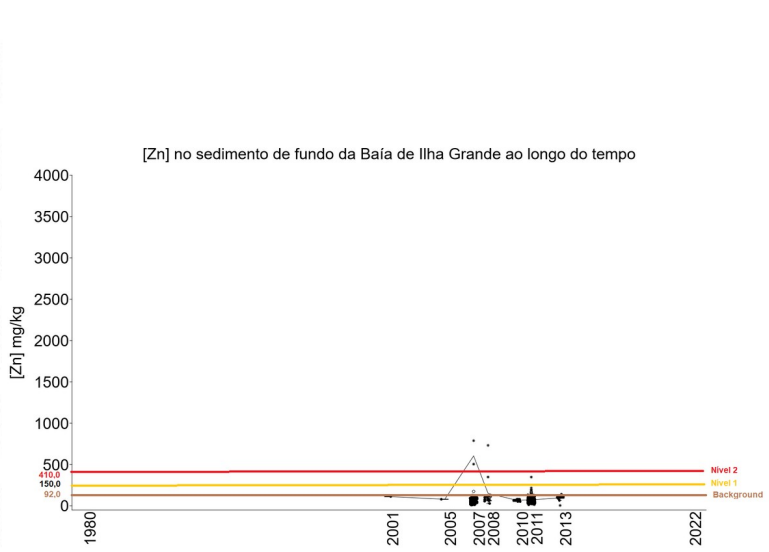












Pontos de coleta, concentração e variação temporal de **zinco (Zn)** no sedimento de fundo das três baías fluminenses apresentando os valores referentes ao background, ou nível de base, nível 1 e 2 da Res. CONAMA n.° 454/2012.

8.4. Apêndice 4 – Complemento das políticas públicas incidentes na região costeira, baías fluminenses e recursos hídricos

8.4.1. Região costeira e baías fluminenses

8.4.1.1. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), 1988

O PNGC esteve afeito à temática abarcada no âmbito da CIRM, paralelamente à questão dos recursos do mar, desde o início da década de 80, inicialmente a partir do Programa de Sistemas Costeiros no I PSRM e, posteriormente, por meio de diversas atividades direcionadas para esse lócus de atuação (CIRM, s/d)

A ênfase conferida a essa componente da PNRM pode ser avaliada por meio da instituição do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), Lei 7.661, de 16/05/1988, com o objetivo específico de "orientar a utilização racional dos recursos na Zona Costeira, de forma a contribuir para elevar a qualidade da vida de sua população, e a proteção do seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural" (Brasil, 1988b).

Para tanto, a CIRM, por meio da Resolução 01, de 21/11/1990, elegeu como princípios orientadores e fundamentadores para o PNGC, a ser desenvolvido e implantado com base na Política Nacional de Meio Ambiente – PNMA, Lei 6.938/81, e Política Nacional para os Recursos do Mar – PNRM, Decreto 5.377/05, os listados a seguir:

- assegurar a proteção aos ecossistemas costeiros cuja utilização far-se-á em observância aos critérios previstos em lei, em condições que assegurem a preservação ambiental;
- promover a manutenção e ampliação da capacidade produtiva pesqueira das águas do mar territorial, por meio da preservação dos mangues, estuários e outras formações costeiras;
- estimular a proteção e reabilitação de áreas remanescentes que sejam representativas dos ecossistemas naturais da Zona Costeira;
- incentivar o controle e reabilitação das áreas degradadas e descaracterizadas na Zona Costeira; e
- incentivar a racionalização do uso dos recursos da Zona Costeira, por

meio do conhecimento da dinâmica ambiental, sob um enfoque sistêmico/holístico.

Como objetivo preponderante, o PNGC buscava “planejar e gerenciar, de forma integrada, descentralizada e participativa, as atividades socioeconômicas na Zona Costeira, de forma a garantir a utilização, controle, conservação, proteção, preservação e recuperação dos recursos naturais e ecossistemas costeiros.

Quanto aos objetivos específicos, almejou:

- obter correto dimensionamento das potencialidades e vulnerabilidades da Zona Costeira;
- assegurar a utilização dos recursos naturais litorâneos com vistas à sua sustentabilidade permanente;
- compatibilizar a ação humana, em qualquer de suas manifestações, com a dinâmica dos ecossistemas costeiros, de forma a assegurar o desenvolvimento econômico e ecologicamente sustentado, com a melhoria da qualidade de vida;
- atuar na preservação, conservação e reabilitação dos ecossistemas litorâneos; e
- exercer efetivo controle sobre os agentes causadores de poluição, sob todas as suas formas, e/ou de degradação ambiental que afetem, ou possam vir a afetar, a Zona Costeira.

No que diz respeito aos Instrumentos, definiu:

- Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE);
- Monitoramento Costeiro (MOC);
- Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro (SISGERCO);
- Planos de Gestão;
    - Plano de implantação de unidade de conservação;
    - Plano de educação ambiental;
    - Plano de desenvolvimento científico e difusão de tecnologias adequadas;
- Programa de apoio a emergências e acidentes;
- Programas de ecoturismo;

- Planos de recuperação de áreas degradadas; e
- Outros instrumentos relacionados, inclusive, ao licenciamento ambiental (CIRM, 1990b).

De acordo com o art. 3° da Lei n.° 7.661/88, o PNGC teve a atribuição de prever o zoneamento de usos e atividades na Zona Costeira e dar prioridade à conservação e proteção, entre outros, dos seguintes bens:

I. recursos naturais, renováveis e não renováveis; recifes, parcéis e bancos de algas; ilhas costeiras e oceânicas; sistemas fluviais, estuarinos e lagunares, baías e enseadas; praias; promontórios, costões e grutas marinhas; restingas e dunas; florestas litorâneas, manguezais e pradarias submersas;
II. sítios ecológicos de relevância cultural e demais unidades naturais de preservação permanente; e
III. monumentos que integrem o patrimônio natural, histórico, paleontológico, espeleológico, arqueológico, étnico, cultural e paisagístico.

8.4.1.2. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC – atualização em 1997 e 2004

Posteriormente, em 1997, o PNGC foi atualizado como PNGC II, por meio do Decreto 5.300, de 07/12/2004, que também regulamentou a Lei n.° 7.661/88, PNGC, além de dispor sobre regras de uso e ocupação da zona costeira, estabelecendo critérios de gestão da orla marítima, entre outras providências.

Quanto aos Princípios do PNGC II, art. 5°, adicionalmente aos estabelecidos pela Política Nacional de Meio Ambiente, Política Nacional para os Recursos do Mar e Política Nacional de Recursos Hídricos, estipulou:

I. observância dos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil na matéria;
II. observância dos direitos de liberdade de navegação, na forma da legislação vigente;
III. utilização sustentável dos recursos costeiros em observância aos

critérios previstos em lei e neste Decreto;

IV. integração da gestão dos ambientes terrestres e marinhos da zona costeira, com a construção e manutenção de mecanismos participativos e na compatibilidade das políticas públicas, em todas as esferas de atuação;

V. consideração, na faixa marítima, da área de ocorrência de processos de transporte sedimentar e modificação topográfica do fundo marinho e daquela onde o efeito dos aportes terrestres sobre os ecossistemas marinhos é mais significativo;

VI. não fragmentação, na faixa terrestre, da unidade natural dos ecossistemas costeiros, de forma a permitir a regulamentação do uso de seus recursos, respeitando sua integridade;

VII. consideração, na faixa terrestre, das áreas marcadas por atividade socioeconômico-cultural de características costeiras e sua área de influência imediata, em função dos efeitos dessas atividades sobre a conformação do território costeiro;

VIII. consideração dos limites municipais, dada a operacionalidade das articulações necessárias ao processo de gestão;

IX. preservação, conservação e controle de áreas que sejam representativas dos ecossistemas da zona costeira, com recuperação e reabilitação das áreas degradadas ou descaracterizadas;

X. aplicação do princípio da precaução, tal como definido na Agenda 21, adotando-se medidas eficazes para impedir ou minimizar a degradação do meio ambiente, sempre que houver perigo de dano grave ou irreversível, mesmo na falta de dados científicos completos e atualizados; e

XI. comprometimento e cooperação entre as esferas de governo, e dessas com a sociedade, no estabelecimento de políticas, planos e programas federais, estaduais e municipais.

Apresentando, como objetivos para a gestão costeira, aqueles definidos pelo art. 6°:

I. promoção do ordenamento do uso dos recursos naturais e da ocupação dos espaços costeiros, subsidiando e otimizando a aplicação dos instrumentos de controle e de gestão da zona costeira;

II. estabelecimento do processo de gestão, de forma integrada, descentralizada e participativa, das atividades socioeconômicas na zona costeira, de modo a contribuir para elevar a qualidade de vida de sua população e a proteção de seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural;

III. incorporação da dimensão ambiental nas políticas setoriais voltadas à gestão integrada dos ambientes costeiros e marinhos, compatibilizando-as com o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC;

IV. controle sobre os agentes causadores de poluição ou degradação ambiental que ameacem a qualidade de vida na zona costeira; e

V. produção e difusão do conhecimento para o desenvolvimento e aprimoramento das ações de gestão da zona costeira.

Além de estabelecer os instrumentos, art. 7°, a serem articulados e integrados:

I. Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC): conjunto de diretrizes gerais aplicáveis nas diferentes esferas de governo e escalas de atuação, orientando a implementação de políticas, planos e programas voltados ao desenvolvimento sustentável da zona costeira;

II. Plano de Ação Federal da Zona Costeira (PAF): planejamento de ações estratégicas para a integração de políticas públicas incidentes na zona costeira, buscando responsabilidades compartilhadas de atuação;

III. Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC): implementa a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro, define responsabilidades e procedimentos institucionais para a sua execução, tendo como base o PNGC;

IV. Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro (PMGC): implementa a Política Municipal de Gerenciamento Costeiro, define

responsabilidades e procedimentos institucionais para a sua execução, tendo como base o PNGC e o PEGC, devendo observar, ainda, os demais planos de uso e ocupação territorial ou outros instrumentos de planejamento municipal;

V. Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro (SIGERCO): componente do Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente (SINIMA), que integra informações georreferenciadas sobre a zona costeira;

VI. Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira (SMAZC): estrutura operacional de coleta contínua de dados e informações, para o acompanhamento da dinâmica de uso e ocupação da zona costeira e avaliação das metas de qualidade socioambiental;

VII. Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira (RQA-ZC): consolida, periodicamente, os resultados produzidos pelo monitoramento ambiental e avalia a eficiência e eficácia das ações da gestão;

VIII. Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro (ZEEC): orienta o processo de ordenamento territorial, necessário para a obtenção das condições de sustentabilidade do desenvolvimento da zona costeira, em consonância com as diretrizes do Zoneamento Ecológico-Econômico do território nacional, como mecanismo de apoio às ações de monitoramento, licenciamento, fiscalização e gestão; e

IX. macrodiagnóstico da zona costeira: reúne informações, em escala nacional, sobre as características físicas, naturais e socioeconômicas da zona costeira, com a finalidade de orientar ações de preservação, conservação, regulamentação e fiscalização dos patrimônios naturais e culturais.

Bem como os requisitos, art. 8°, a serem atendidos pelos Planos Estaduais e Municipais de Gerenciamento Costeiro, a serem instituídos por lei, definindo:

I. princípios, objetivos e diretrizes da política de gestão da zona costeira da sua área de atuação;

II. Sistema de Gestão Costeira na sua área de atuação;
III. instrumentos de gestão;
IV. infrações e penalidades previstas em lei; e
V. mecanismos econômicos que garantam a sua aplicação.

Além de outras diretivas relacionadas ao Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro (ZEEC); competências; regras de uso e ocupação da zona costeira, além de limites, objetivos, instrumentos e competências para a gestão da orla marítima, nos artigos subsequentes.

8.4.1.3. Projeto Orla

O Projeto Orla, iniciativa do governo federal envolvendo o Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-GERCO) da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos do Ministério do Meio Ambiente (SQA/MMA) e a Secretaria do Patrimônio da União do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (SPU/MP), de acordo com SQA/MMA; MP/SPU (2002).

Tem como objetivo primordial compatibilizar políticas ambiental e patrimonial do governo federal relacionadas aos espaços litorâneos sob propriedade ou guarda da União. Além, também, de abordar o uso e gestão dos terrenos e acrescidos de marinha para consolidar ações cooperativas e harmônicas entre as ações e políticas praticadas pelos entes federativos na orla marítima (SQA MMA; MP SPU, 2002).

E como objetivos estratégicos:

- fortalecer a capacidade de atuação e a articulação de diferentes atores do setor público e privado na gestão integrada da orla, aperfeiçoando o arcabouço normativo para o ordenamento de uso e ocupação desse espaço;
- desenvolver mecanismos institucionais de mobilização social para sua gestão integrada; e
- estimular atividades socioeconômicas compatíveis com o desenvolvimento sustentável da orla.

Nessa iniciativa, a classificação de cada setor litorâneo a sofrer intervenção

deve considerar, também, os níveis de qualidade ambiental definidos como “estado ou condição da área em relação à influência exercida sobre a qualidade de vida presente e a desejada pela população". A condição do ambiente é avaliada (não necessariamente em números) por meio de determinadas variáveis ou componentes de maior influência em um dado momento ou situação” (SQA MMA; MP SPU, 2002).

Os parâmetros utilizados para expressar a situação dos setores litorâneos de interesse estão afeitos às características ambientais, sociais e econômicas.

As características ambientais, especificamente, consideram a “cobertura vegetal nativa; valores cênicos; integridade dos ecossistemas; fragilidade dos ecossistemas; presença de unidades de conservação; condição de balneabilidade; degradação ambiental; presença de efluentes (línguas negras); presença de resíduos sólidos (lixo) na orla; presença de construções irregulares; potencial para aproveitamento mineral; aptidão agrícola; potencial de extração vegetal; potencial pesqueiro; aptidão para aquicultura” (SQA MMA; MP SPU, 2002).

8.4.2. Recursos hídricos

Após o início da ocupação do território brasileiro, em 1500, e até por volta de 1930, eram escassas as preocupações com a proteção dos recursos hídricos. As normas jurídicas vigentes tinham o único objetivo de assegurar a preservação dos recursos que tinham valor econômico de interesse para a expansão ultramarina, a exemplo do pau-brasil e demais riquezas florestais e minerais (Melo; Maracajá; Dantas Neto, 2012).

A Constituição Imperial de 1824 não trouxe nenhum dispositivo a respeito da tutela ambiental. Ainda que Dom Pedro II, por meio de iniciativa pontual em 1862, tenha determinado o reflorestamento da Floresta da Tijuca com o objetivo de assegurar a oferta de água, ameaçada devido ao desmatamento realizado naquela região.

O primeiro instrumento legal abarcando a água está afeito ao Código Penal, de 1890, que, no art. 162, determinava que “corromper, ou conspurcar, a água potável de uso comum ou particular, tornando-a impossível de beber ou nociva à saúde. Pena de prisão cellular de 1 (um) a 3 (três) anos." (Melo; Maracajá; Dantas

Neto, 2012).

O Código Civil de 1916, por sua vez, faz menção à água com relação à regulação do direito de uso desse recurso. Mas, apenas no que diz respeito ao direito de vizinhança e à utilização da água como um bem de domínio privado e de valor econômico limitado (Melo; Maracajá; Dantas Neto, 2012).

A água, naquele momento, poderia ser utilizada, desde que fossem resguardados os direitos de vizinhança, as relações entre particulares e a prevenção ou solução de conflitos gerados pelo uso da água.

Com a crise econômica de fins do século XIX e início do século XX, decorrente da alteração do modelo econômico – agrário para industrial – e necessidade de superação da cultura vigente marcada pelo patrimonialismo, intensifica-se a utilização da energia elétrica para a manutenção dos processos produtivos industriais.

E a administração federal constata a necessidade da imposição de normas reguladoras, uma vez que os serviços relacionados ao fornecimento de água continuavam precários.

A Constituição Federal de 1934, no art. 5º, inciso XIX, alínea “j”, apresenta dispositivos constitucionais destacando a importância de conferir maior atenção para os recursos, dispondo que “compete privativamente à União: [...] XIX – legislar sobre [...] j) bens do domínio federal, riquezas do subsolo, mineração, metalurgia, águas, energia hidrelétrica, florestas, caça e pesca e a sua exploração” (Brasil, 1934.ª).

E, em seguida, como resultado das discussões que já ocorriam há mais de 20 anos, foi sancionado, em 10 de julho de 1934, o Decreto 24.643, denominado “Código das Águas”, instrumento legal que estabelece o regime jurídico, no Brasil, para as questões relacionadas ao uso da água (Brasil, 1934b).

Definiu, ainda, que as águas podem ser de uso comum, públicas dominicais ou particulares, e os tipos de usos a serem realizados pelos usuários. E firmava, no art. 109: “A ninguém é lícito conspurcar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízo de terceiros.”

Ainda que o objeto de atenção para as águas limitasse-se à sua quantidade, sem preocupação com a qualidade, com ênfase ao setor elétrico e de transporte.

A Constituição Brasileira de 1937 em nada inovou no tratamento dado às questões relativas aos recursos hídricos, apenas repetindo o que dispunham as anteriores no tocante à competência da União para legislar e à exploração econômica das águas. A atenção e ênfase direcionaram-se para o uso da água apenas como recurso (Brasil, 1937).

O Código Penal, de 1940, associou a proteção dos recursos hídricos com o direito à saúde, pois não se podia assegurá-la em um ambiente degradado. Dispôs o art. 271 que “corromper ou poluir água potável de uso comum ou particular, tornando-a imprópria para o consumo ou nociva à saúde. Pena: reclusão de 2 (dois) a 5 (cinco) anos. Se o crime é culposo – pena: detenção, de 2 (dois) meses a 1 (um) ano" (Brasil, 1940).

A Constituição de 1946, por sua vez, no art. 34, incluiu, como bens da União, “os lagos e quaisquer correntes de água em terrenos do seu domínio ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limite com outros países ou se estendam a território estrangeiro, e bem assim as ilhas fluviais e lacustres nas zonas limítrofes com outros países” (Brasil, 1946).

As iniciativas desenvolvimentistas a partir da década de 1960 foram influenciadas pelo prenúncio de preocupações com a gestão global e equilibrada da água, ainda que de maneira incipiente. E os interesses setoriais, com a criação do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAE), em 1968, e do Plano Nacional de Saneamento Básico, em 1971, em que destacavam o setor elétrico e de saneamento, permaneceram dominantes (Melo; Maracajá; Dantas Neto, 2012).

As discussões promovidas pelo Clube de Roma, criado em 1968 e constituído por cientistas de diversos países, marcaram a primeira iniciativa internacional para a análise de questões relacionadas ao uso dos recursos naturais do planeta. A temática do encontro abarcou tópicos como os limites ambientais da Terra e o papel que os recursos naturais apresentavam para fazer frente à pobreza, a partir do uso equânime dos recursos naturais. Chamou a atenção, ainda, para a necessidade de ações urgentes e comuns para a abordagem dos temas ambientais, encontrando, de pronto, ressonância na comunidade internacional (“The Club of Rome”, 2023).

A publicação da obra “Os limites do crescimento”, em 1972, constituiu alerta quanto à necessidade de definição de critérios para utilização dos recursos naturais, incluindo a água, em um planeta onde os recursos deveriam se tornar cada vez mais escassos.

No Brasil, a década de 1970 foi um marco nas discussões a respeito das questões ambientais e do uso da água, sempre pautadas nas necessidades de grandes usuários e nos problemas relacionados às inundações e secas. O governo federal era responsável pelas decisões e as bacias hidrográficas não eram consideradas unidades territoriais de planejamento e gestão para os recursos hídricos (Carvalho et al., 2008; CETESB, s/d; Melo; Maracajá; Dantas Neto, 2012).

Posteriormente, em 1977, com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Água, ocorrida em Mar del Plata, Uruguai, foram lançadas as bases para a tomada de posição da comunidade internacional em relação à quantidade, disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, em razão da poluição e má utilização (Report of the United Nations Water Conference, Mar del Plata, 14-25 March 1977, 1977).

No Brasil, as péssimas condições sanitárias das bacias do Alto Tietê e Cubatão, em São Paulo, estimularam a ação coordenada do Ministério das Minas e Energia (MME) e do governo de São Paulo, em 1976, para abordagem do problema. Da mesma forma, o quadro citado contribuiu para a instituição do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH), em 1978, e, posteriormente, para a criação dos Comitês Executivos nas bacias hidrográficas do Paraíba do Sul, São Francisco e Ribeira do Iguape (Couto, 2023).

A Lei 6.938, de 31/08/1981, instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente e o Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA, integrado por órgãos federais, estaduais e municipais responsáveis pela proteção ambiental. Destacando a importância do governo federal nessa ação (Brasil, 1981).

A reboque, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), inaugurando no âmbito nacional iniciativas voltadas à gestão dos recursos hídricos, publica a Resolução 20, de 18/06/1986, dispondo sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional (CONAMA, 1986).

Ao longo desse processo, especial ênfase deve ser dada à Constituição Federal de 1988 por estipular, art. 20, que as águas são bens da União e de uso público, inclusive as subterrâneas, não mais existindo águas comuns ou dominicais, particulares, alterando radicalmente os preceitos dominantes até então vigentes no que se refere aos recursos hídricos (Brasil, 1988a).

O estado de São Paulo foi pioneiro na instituição de Política Estadual de Recursos Hídricos, a partir da Lei 7.663/91. Assim como na criação de órgãos consultivos e deliberativos, seguidos pelos estados: Ceará, em 1992; Santa Catarina e Distrito Federal, em 1993; Minas Gerais e Rio Grande do Sul, em 1994; Sergipe e Bahia, em 1995; Rio Grande do Norte e Paraíba, em 1996; Pernambuco, Goiás, Sergipe, Mato Grosso, Alagoas e Maranhão, em 1997; Espírito Santo, em 1998; Minas Gerais, Rio de Janeiro e Paraná, em 1999; além do Piauí, em 2000, seguidos pelos demais estados que, posteriormente, implantaram suas políticas estaduais (Rocha; Vieira; Castro, 2001).

8.4.2.1. Antecedentes da Política Nacional dos Recursos Hídricos – PNRH

Em decorrência da evolução dos dispositivos legais afeitos aos recursos hídricos citados, é promulgada, em 08/01/1988, a Lei n.° 9.433, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), incorporando os principais marcos dos eventos citados. Já atendendo ao notável diferencial instituído pela Constituição Federal de 1988 ao tornar a água bem público a ser gerida por meio de processos democráticos (Brasil, 1997).

O quadro exposto assegurou ambiente e condições propícias, além de democráticas, para a instituição de instrumentos políticos para a gestão das águas alinhados com as mais desenvolvidas estratégias adotadas por outros países.

A PNRH, de acordo com o art. 2°, tem por objetivos:

I. assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
II. a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III. a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais; e

IV. incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais (que passou a ser incluído pela Lei 13.501, de 2017).

O SINGREH estipula, por sua vez, no art. 33, as instâncias para a gestão dos recursos hídricos (Brasil, 1997):

I. Conselho Nacional de Recursos Hídricos;

II. Agência Nacional de Águas;

III. Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal;

IV. Comitês de Bacia Hidrográfica;

V. órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências.

E estabelece que os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs), de acordo com o art. 37, têm como área de atuação (Brasil, 1997):

I. a totalidade de uma bacia hidrográfica;

II. a sub-bacia hidrográfica de tributário do curso de água principal da bacia, ou de tributário desse tributário; ou

III. grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas.

2. Quanto à atuação, compete aos Comitês de Bacias Hidrográficas, art. 38:

I. promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes;

II. arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos;

III. aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia;

IV. acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;

V. propor ao Conselho Nacional e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com os domínios destes;

VI. estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados;

VII. (VETADO);

VIII. (VETADO);

IX. estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo.

Parágrafo único. Das decisões dos Comitês de Bacia Hidrográfica caberá recurso ao Conselho Nacional ou aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, de acordo com sua esfera de competência.

No que respeita à composição, os CBHs são constituídos, art. 39, por representantes:

I. da União;

II. dos Estados e do Distrito Federal cujos territórios se situem, ainda que parcialmente, em suas respectivas áreas de atuação;

III. dos municípios situados, no todo ou em parte, em sua área de atuação;

IV. dos usuários das águas de sua área de atuação; e

V. das entidades civis de recursos hídricos com atuação comprovada na bacia.

8.4.2.2. Esfera estadual

8.4.2.2.1. Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (PERH-RJ)

No estado do Rio de Janeiro, os mecanismos para a gestão dos recursos hídricos são definidos a partir da Lei 3.239/97, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) e cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com os objetivos, segundo o art. 2°, de:

I. garantir, à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade dos recursos naturais, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II. assegurar o prioritário abastecimento da população humana;

III. promover a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos,

de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais;

IV. promover a articulação entre União, Estados vizinhos, Municípios, usuários e sociedade civil organizada, visando à integração de esforços para soluções regionais de proteção, conservação e recuperação dos corpos de água;

V. buscar a recuperação e preservação dos ecossistemas aquáticos e a conservação da biodiversidade dos mesmos; e

VI. promover a despoluição dos corpos hídricos e aquíferos, grifo nosso (Rio de Janeiro, 1999)

O Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, de acordo com o art. 43, é constituído por:

I. Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI);

II. Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FUNDRHI);

III. Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH's)

IV. Agências de Água; e

V. organismos dos poderes públicos federal, estadual e municipal cujas competências se relacionem com a gestão dos recursos hídricos.

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI) tem suas competências firmadas no art. 45 e estão afeitas, como regra geral, à articulação do planejamento das ações estaduais com foco nos recursos hídricos na escala estadual e com seus congêneres nacional, entre outras (Rio de Janeiro, 1999).

Estabelecendo que o CERHI é instituído pelo Decreto Estadual n.° 27.208, de 02/10/2000, que definiu, no art. 2°, entre outras competências, a:

I. …

II. promover a interação, no que couber, entre a Política Estadual de Recursos Hídricos e as demais Políticas do Governo do Estado, em particular com a Política de Meio Ambiente e de Gerenciamento Costeiro, grifo nosso; (Rio de Janeiro, 2000).

III. ….

Competência que se mantém nos Decretos Estaduais nº 32.862/2003, nº

41.309/2007 e nº 44.115/2013, vigorando até o presente.

8.4.2.2.2. Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH)

No que tange aos Comitês de Bacia Hidrográficas (CBH), o art. 52 da mesma lei citada define que "são entidades colegiadas, com atribuições normativa, deliberativa e consultiva, reconhecidas e qualificadas por ato do Poder Executivo, mediante proposta do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI)."

Informa, ainda, que terá como área de atuação e jurisdição:

I. a totalidade de uma bacia hidrográfica de curso d'água de primeira ou segunda ordem; ou
II. um grupo de bacias hidrográficas contíguas

Determina, no art. 53, que ao CBH caberá a coordenação das atividades dos agentes públicos e privados relacionados aos recursos hídricos e ambientais, compatibilizando as metas e diretrizes do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI) com as peculiaridades de sua área de atuação.

E define, no art. 55, as atribuições e competências dos CBH:

I. propor ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI) a autorização para constituição da respectiva Agência de Água;
II. aprovar e encaminhar ao CERHI a proposta do Plano de Bacia Hidrográfica (PBH) para ser referendada;
III. acompanhar a execução do PBH;
IV. aprovar as condições e critérios de rateio dos custos das obras de uso múltiplo ou de interesse comum ou coletivo, a serem executadas nas bacias hidrográficas;
V. elaborar o relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos de sua bacia hidrográfica;
VI. propor o enquadramento dos corpos de água da bacia hidrográfica em classes de uso e conservação, e encaminhá-lo para avaliação técnica e decisão pelo órgão competente;
VII. propor os valores a serem cobrados e aprovar os critérios de cobrança pelo uso da água da bacia hidrográfica, submetendo-os à homologação

do CERHI;

VIII. encaminhar, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direito de uso de recursos hídricos, as propostas de acumulações, derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes;

IX. aprovar a previsão orçamentária anual da respectiva Agência de Água e o seu plano de contas;

X. aprovar os programas anuais e plurianuais de investimentos em serviços e obras de interesse dos recursos hídricos, tendo por base o respectivo PBH;

XI. ratificar convênios e contratos relacionados aos respectivos PBH;

XII. implementar ações conjuntas com o organismo competente do Poder Executivo, visando à definição dos critérios de preservação e uso das faixas marginais de proteção de rios, lagoas e lagunas; e

XIII. dirimir, em primeira instância, eventuais conflitos relativos ao uso da água

8.4.2.2.3. Subcomitês de Bacias Hidrográficas

Para contribuir, quando não assegurar que os objetivos de um CBH sejam atingidos, podem ser instituídos subcomitês para atuar com maior objetividade em sub-regiões hidrográficas específicas.

A Região Hidrográfica RH I - Baía de Ilha Grande, graças à baixa densidade ocupacional e limitações impostas pelo relevo, com pequenas planícies costeiras entremeadas por grandes maciços rochosos, não possibilita a expansão urbana, ao mesmo tempo em que assegura significativas áreas com cobertura original constituída por Mata Atlântica em bom estado de preservação. As atividades ambientalmente impactantes, restritas a alguns empreendimentos industriais de grande porte, como a Eletronuclear, Estaleiro Brasfels, Terminal de Petróleo da Baía de Ilha Grande – TEBIG e Porto de Angra dos Reis, além de diversas marinas, não justificaram a instituição de subcomitês, até então.

Mesma situação da RH – II Guandu/Baía de Sepetiba, a configurar região de passagem devido à transposição de águas do Rio Paraíba do Sul por meio do

sistema Guandu para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, aliada à menor dimensão e menor heterogeneidade espacial de atividades socioeconômicas, não justificando, também, a instituição de subcomitês.

Já na RH Baía de Guanabara, a Resolução CERHI n.° 63, de 29/06/2011, dispôs sobre a criação de seis subcomitês, abarcando as sub-regiões hidrográficas para atender aos interesses de cada um dos territórios (CERHI-RJ, 2011):

I. do Sistema Lagunar de Maricá – Guarapina;
II. do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga;
III. da Baía de Guanabara – Trecho Leste;
IV. da Baía de Guanabara – Trecho Oeste;
V. do Sistema Lagunar da Lagoa Rodrigo de Freitas;
VI. do Sistema Lagunar de Jacarepaguá.

Com a atribuição de encaminhar proposições ao Plenário do CBH-BG relacionadas ao interesse das respectivas sub-regiões hidrográficas.

8.4.2.2.4. Plano de Bacia Hidrográfica ou Plano de Recursos Hídricos

Um dos mais importantes instrumentos para a caracterização, avaliação e gestão das águas e territórios associados refere-se ao Plano de Bacia Hidrográfica (PBHs), ou Plano de Recursos Hídricos, um dos instrumentos preconizados na Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/97, e Política Estadual de Recursos Hídricos, Lei 3.239/99, com o conteúdo mínimo definido pela Resolução CNRH n.° 145, de 12/12/2012 (CBH-BG, *[S.d.]*).

O plano acima referido busca fundamentar e contribuir, no âmbito dos seus objetivos, para as diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos, a servir de base para a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI), como definido pelo art. 12 (Rio de Janeiro, 1999).

Um Plano de Recursos Hídricos deve necessariamente apresentar, como elementos constitutivos, art. 13:

I. a caracterização socioeconômica e ambiental da bacia e da zona estuarina;
II. a análise de alternativas do crescimento demográfico, de evolução das

atividades produtivas e de modificação dos padrões de ocupação do solo;

III. os diagnósticos dos recursos hídricos e dos ecossistemas aquáticos e aquíferos, grifo nosso (Rio de Janeiro, 1999);

IV. ….

De acordo com a Resolução CNRH n.° 145/2012, art. 10°, os Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas serão constituídos pelas etapas de diagnóstico, prognóstico e plano de ações, contemplando os recursos hídricos superficiais e subterrâneos e estabelecendo metas de curto, médio e longo prazos e ações para seu alcance, observando o art. 7o da Lei n.° 9.433/97, elaborados a partir dos dados secundários disponíveis, sem impedimento para a utilização de dados primários (Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), 2012).

O conteúdo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica deverá atender ao Termo de Referência, resultado da articulação entre a entidade gestora de recursos hídricos e o Comitê de Bacia, considerando as especificidades da bacia hidrográfica objeto de atenção.

Para tanto, art. 11 da mesma Res. CNRH estabelece que o diagnóstico da situação atual da bacia hidrográfica deverá abarcar, no mínimo:

I. caracterização da bacia hidrográfica, considerando aspectos físicos, bióticos, socioeconômicos, políticos e culturais;

II. caracterização da infraestrutura hídrica;

III. avaliação do saneamento ambiental;

IV. avaliação quantitativa e qualitativa das águas superficiais e subterrâneas;

V. avaliação do quadro atual dos usos da água e das demandas hídricas associadas;

VI. balanço entre as disponibilidades e demandas hídricas avaliadas;

VII. caracterização e avaliação da rede de monitoramento qualiquantitativa dos recursos hídricos;

VIII. identificação de áreas sujeitas à restrição de uso com vistas à proteção dos recursos hídricos;

IX. avaliação do quadro institucional e legal da gestão de recursos hídricos, estágio de implementação da política de recursos hídricos, especialmente dos instrumentos de gestão;

X. identificação de políticas, planos, programas e projetos setoriais que interfiram nos recursos hídricos; e

XI. caracterização de atores relevantes para a gestão dos recursos hídricos e dos conflitos identificados.

O prognóstico, art. 12, deverá circunscrever cenários futuros alinhados com as expectativas de planejamento, considerando:

I. a análise dos padrões de crescimento demográfico e econômico e das políticas, planos, programas e projetos setoriais relacionados aos recursos hídricos;

II. proposição de cenário tendencial, com a premissa da permanência das condições demográficas, econômicas e políticas prevalecentes, e de cenários alternativos;

III. avaliação das demandas e disponibilidades hídricas dos cenários formulados;

IV. balanço entre disponibilidades e demandas hídricas com identificação de conflitos potenciais nos cenários;

V. avaliação das condições da qualidade da água nos cenários formulados com identificação de conflitos potenciais;

VI. as necessidades e alternativas de prevenção ou mitigação das situações críticas identificadas; e

VII. definição do cenário de referência para o qual o Plano de Recursos Hídricos orientará suas ações.

O Plano de Ações almeja mitigar, minimizar e se antecipar aos problemas relacionados aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para subsidiar ações voltadas a assegurar os usos múltiplos da água mediante gestão de ações e políticas integradas, considerando, no mínimo:

I. definição das metas do plano;

II. ações ou intervenções requeridas, organizadas em componentes,

programas e subprogramas, com justificativa, objetivos, executor, investimentos, fontes possíveis de recursos, prazo de implantação;

III. prioridades e cronograma de investimentos;

IV. diretrizes para os instrumentos de gestão;

V. arranjo institucional ou recomendações de ordem institucional para aperfeiçoamento da gestão dos recursos hídricos e para implementação das ações requeridas;

VI. recomendações de ordem operacional para a implementação do plano;

VII. indicadores que permitam avaliar o nível de implementação das ações propostas; e

VIII. recomendações para os setores usuários, governamental e sociedade civil.

No que diz respeito à implementação do Plano de Bacia e posteriores revisões, correções e adequações, deverão ser orientadas por estratégias de implementação a compatibilizar tanto recursos financeiros como as ações previstas, tendo em conta a sustentabilidade hídrica e operacional das intervenções planejadas, cuja previsão legal encontra-se no art. 14.

Já a periodicidade da revisão do Plano de Recursos Hídricos deverá ser estabelecida considerando o horizonte de planejamento e especificidades da bacia hidrográfica, devendo se fundamentar na avaliação de sua implementação e podendo sofrer emendas complementares, corretivas ou de ajuste, como estipulado pelo art. 15 da Res. CNRH 145/12.

8.4.3. Instrumentos reguladores de atividades antropogênicas com potencial de introduzir metais pesados na região costeira do Rio de Janeiro

8.4.3.1. Esfera Federal

No contexto anteriormente explanado, não há abordagem, foco e objetivo pré-definido, por se tratarem de instrumentos genéricos, na introdução, presença e concentração de metais pesados no ambiente e, particularmente, no sedimento de corpos d'água doces, salobros e salinos, mormente nas regiões costeiras.

Apenas em instrumentos normativos federais, como as Resoluções

CONAMA, ou estaduais, Normas Operacionais para o caso do estado do Rio de Janeiro, questões afeitas aos metais pesados foram mencionadas, tiveram limites definidos e estão endereçadas.

Iniciando o regramento dessa questão, a Resolução CONAMA n.° 274/2000 define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras e reconhece a existência de águas doces, com salinidade inferior a 0,5; salobras, variando entre 0,5 e 30; e salinas, superior a 30. Além de estipular as espécies de coliformes termotolerantes a serem utilizados como referência para avaliação da qualidade das águas para fins de banho e contato primário (CONAMA, 2000).

No que diz respeito ao sedimento contaminado, a Resolução CONAMA n.° 344/2004 estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, além de dar outras providências, tendo em conta a necessidade de dragagem para garantir a implantação e a operação de portos e terminais portuários, incluindo as condições de navegabilidade dos corpos hídricos (CONAMA, 2004).

Estipula o significado de material dragado, disposição final e águas jurisdicionais brasileiras, sejam interiores ou marítimas. Bem como os critérios de qualidade para o material a ser dragado, a ser enquadrado em dois níveis:

I. Nível 1: limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota, e
II. Nível 2: limiar acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota.

Estabelece, ainda, os procedimentos para coleta de amostras de sedimento representativas da área a ser dragada para fins de avaliação ambiental, bem como os testes ecotoxicológicos a serem aplicados caso o sedimento apresente contaminação por poluentes sintéticos.

Além de estabelecer, na Tabela III, as concentrações de poluentes em amostras de sedimento para fins de classificação do material a ser dragado, Quadro 176.

Quadro 176. Níveis de classificação da qualidade de sedimento em águas doce, salobra e salina a partir da concentração de metais pesados no sedimento. Fonte: adaptado da Tabela III, Resolução CONAMA n.° 344/2004 (CONAMA, 2004).

Substâncias		**Níveis de classificação do material a ser dragado (em mg/kg de material seco)**			
		Água Doce		**Água Salina / Salobra**	
		Nível 1	**Nível 2**	**Nível 1**	**Nível 2**
Metais e Semimetais (mg/kg)	Arsênio (As)	5,9[1]	17[1]	8,2[2]	70[2]
	Cadmio (Cd)	0,6[1]	3,5[1]	1,2[2]	9,6[2]
	Chumbo (Pb)	35[1]	91,3[1]	46,7[2]	218[2]
	Cobre (Cu)	35,7[1]	197[1]	34[2]	270[2]
	Cromo (Cr)	37,3[1]	90[1]	81[2]	370[2]
	Mercúrio (Hg)	0,17[1]	0,486[1]	0,15[2]	0,71[2]
	Níquel (Ni)	18[3]	35,9[3]	20,9[2]	51,6[2]
	Zinco (Zn)	123[1]	315[1]	150[2]	410[2]

Observação: os valores orientadores, adotados na TABELA III, tem como referência as seguintes publicações oficiais canadenses e norte-americanas:

1. ENVIRONMENTAL CANADA. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables. <http://www.ec.gc.ca>, atualizado em 2002.
2. Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. & Calder F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management 19 (1): 81-97.
3. FDEP (1994). Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters. Vol. I. Development and Evaluation of Sediment Quality Assessment Guidelines. Prepared for Florida Department of Enviromental Protection - FDEP, Office of Water Policy, Tallahasee, FL, by MacDonald Enviromental Sciences Ltd., Ladysmith, British Columbia. 1994.
   Quando da caracterização química, devem ser realizadas, ainda, determinações de carbono orgânico total (COT), nitrogênio Kjeldahl total e fósforo total do material a ser dragado, para subsidiar o gerenciamento na área de disposição.

A Resolução CONAMA n.° 357/2005, por sua vez, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, entre outras providências (CONAMA, 2005).

Define as concentrações máximas de agentes físicos, químicos, incluindo metais pesados, e microbiológicos tolerados para as condições e padrões de qualidade de água para cada um dos cinco tipos de águas doces, quatro de águas

salobras e quatro de águas salinas, considerando cos usos preponderantes estabelecidos pelo enquadramento do corpo d'água, instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/97.

A concentração máxima admitida para cada um de metais pesados para lançamento de efluentes em águas doces, salinas e salobras é apresentada no Quadro 177.

Quadro 177. Padrões de qualidade – concentração de metais pesados em mg por litro) – para as Classes de água doce, salina e salobra. Fonte: adaptado da Resolução CONAMA n° 357/2005 (CONAMA, 2005).

Metal pesado		Águas Doces Classe (mg/L)			Águas Salinas Classe (mg/L)			Águas Salobras Classe (mg/L)		
		I e II	I – pesca cultivo	III	I	I – pesca cultivo	II	I	I – pesca cultivo	II
As	Arsênio	0,01	0,14	0,033	0,01	0,14	0,069	0,01	0,14	0,069
Cd	Cádmio total	0,001	-	0,01	0,005	-	0,04	0,005	-	0,04
Cr	Cromo total	0,05	-	0,05	0,05	-	1,1	0,05	-	1,1
Cu	Cobre dissolvido	0,009	-	0,013	0,005	-	0,0078	0,005	-	0,0078
Hg	Mercúrio total	0,0002	-	0,002	0,0002	-	0,0018	0,0002	-	0,018
Mn	Manganês total	0,1	-	0,5	0,1	-	-	0,1	-	-
Ni	Níquel total	0,025	-	0,025	0,025	-	0,074	0,025	-	0,074
Pb	Chumbo total	0,01	-	0,033	0,01	-	0,21	0,01	-	0,21
Zn	Zinco total	0,18	-	5	0,09	-	0,12	0,09	-	0,12

A Resolução CONAMA n.° 396/2008, complementando a anterior, trata da classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, além de outras providências.

Classifica as águas subterrâneas – águas que ocorrem natural ou artificialmente no subsolo – em cinco classes de qualidade a partir do conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes, atuais e futuros, de acordo com suas condições de qualidade. E considera, ainda, a qualidade apresentada pelas águas subterrâneas, em dado momento, frente aos requisitos de qualidade para os usos pretendidos no futuro.

As águas subterrâneas são classificadas em cinco Classes de Qualidade: Especial, 1, 2, 3 e 4 com requisitos de qualidade específicos para usos preponderantes pré-definidos para cada uma delas. Incluindo limites para metais pesados, Quadro 178, CONAMA (2008).

Quadro 178. Limites da concentração de metais pesados em águas subterrâneas para cada um dos tipos de usos preponderantes e de quantificação praticável (LQP). Fonte: adaptado do Anexo I da Resolução CONAMA n° 396/2008 (CONAMA, 2008).

Metal pesado		Usos Preponderantes da Água				Limite de Quantificação Praticável – LQP (ug/L)
		Consumo humano (ug/L)	Dessedentação de animais (ug/L)	Irrigação (ug/L)	Recreação (ug/L)	
As	Arsênio	10	200		50	8
Cd	Cádmio total	5	50	10	5	5
Cr	Cromo total	50	1.000	100	50	10
Cu	Cobre dissolvido	2.000	500	200	1.000	50
Hg	Mercúrio total	1	10	2	1	1
Mn	Manganês total	100	50	200	100	25
Ni	Níquel total	20	1.000	200	100	10
Pb	Chumbo total	10	100	5.000	50	10
Zn	Zinco total	5.000	24.000	2.000	5.000	10

A Resolução n.° 420/09, dispôs a 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.

O objetivo foi assegurar a funcionalidade do solo de maneira preventiva ou corretiva, buscando restaurar ou recuperar a sua qualidade para compatibilizar suas características com os tipos de usos previstos. Com a ressalva que não se aplica a áreas e solos submersos no meio aquático marinho e estuarino, ou costeiro.

Dentre diversas determinações, estipula, Quadro 179, os valores orientadores para a concentração de metais pesados no solo e em águas subterrâneas.

Com destaque aos Valores de Investigação para uso em áreas agrícola APMax registrando os limites das concentrações que passam a oferecer riscos diretos e indiretos à saúde humana e ao solo, que, por exemplo, pode deixar de atender suas funções principais para as atividades agrícolas (CONAMA, 2009).

Quadro 179. Concentração tolerada de metais pesados no solo e água subterrânea para diferentes tipos de uso do solo. Fonte: adaptado do Anexo I da Resolução CONAMA n°. 420/2009 (CONAMA, 2009).

Metal pesado		Solo (mg.kg-1 de peso seco)					Água subterrânea ug.L-1
		Referência de qualidade	Valores de Prevenção	Valores de Investigação			
				Agrícola APMAx	Residencial	Industrial	Valor de Investigação
As	Arsênio	E	15	35	55	150	10*
Cd	Cádmio	E	1,3	3	8	20	5*
Cr	Cromo	E	75	150	300	400	50*
Cu	Cobre	E	60	200	400	600	2.000*
Hg	Mercúrio	E	0,5	12	36	70	1*
Mn	Manganês	E	-	-	-	-	400**
Ni	Níquel	E	30	70	100	130	20
Pb	Chumbo	E	72	180	300	900	10*
Zn	Zinco	E	300	450	1.000	2.000	1.050**

Observações:

“E” – a ser definido pela agência estadual.

* Padrões de potabilidade de substâncias químicas que representam risco à saúde definidos na Portaria n.° 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 3).

** Valores calculados com base em risco à saúde humana, de acordo com o escopo desta Resolução. Diferem dos padrões de aceitação para consumo humano definidos na Portaria no 518/2004 do Ministério da Saúde (Tabela 5) e dos valores máximos permitidos para consumo humano definidos no Anexo I da Resolução CONAMA no 396/2008.

A Resolução CONAMA n° 460/2013 alterou o prazo, acrescentou um parágrafo e deu nova redação aos valores orientadores de referência de qualidade, de Prevenção e de Investigação (VQRs) do art. 8° da Resolução CONAMA n.° 420/2009.

A Resolução CONAMA n.° 430/2011, por sua vez, trata das condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.° 357/05 (CONAMA, 2011).

Estabelece, art. 3°, que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução, entre outras normas aplicáveis. Estipula, ainda, que órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento, mediante fundamentação técnica:

I. acrescentar outras condições e padrões para o lançamento de efluentes, ou

torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições do corpo receptor; ou

II. exigir tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo corpo receptor (CONAMA, 2011).

Os padrões para lançamento de efluentes, Quadro 180, foram obtidos na Seção II – Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, art. 16, II – Padrões de lançamento de efluentes, Tabela I da citada Resolução 430/11.

Quadro 180. Padrões para lançamento de efluentes com metais pesados em corpos d'água. Fonte: adaptado da Tabela I da Resolução CONAMA n° 430/2011 (CONAMA, 2011).

Metal pesado		**Valores máximos mg.L-1**
As	Arsênio	0,5
Cd	Cádmio	0,2
Cr	Cromo hexavalente	0.1
Cr	Cromo trivalente	1,0
Cu	Cobre	1,0
Hg	Mercúrio	0,01
Mn	Manganês	1,0
Ni	Níquel	2,0
Pb	Chumbo	0,5
Zn	Zinco	5,0

A Seção III – Das Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários, art. 21, registra que o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverá obedecer às seguintes condições e padrões específicos:

§ 1° As condições e padrões de lançamento relacionados na Seção II, art. 16, incisos I e II desta Resolução poderão ser aplicáveis aos sistemas de tratamento de esgotos sanitários, a critério do órgão ambiental competente, em função das características locais, não sendo exigível o padrão de nitrogênio amoniacal total (CONAMA, 2011a).

Quanto ao sedimento contaminado por metais pesados, a Resolução CONAMA n.° 454/2012 revoga as Res. CONAMA n.° 344/2004 e n.° 421/2010, estabelecendo as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas doces, salobras e salinas sob jurisdição nacional (CONAMA, 2012).

Para tanto, o art. 1° estabelece os critérios que devem ser observados para fins de implantação, aprofundamento, manutenção ou ampliação de canais hidroviários, da infraestrutura aquaviária dos portos, terminais e outras instalações portuárias, públicos e privados, civis e militares, bem como das dragagens para outros fins, mas não para dragagens para fins de mineração (CONAMA, 2012).

Já o art. 10 desse instrumento determina que a caracterização química do material a ser dragado fundamentará sua classificação para fins de avaliação das condições e alternativas para sua disposição:

I. em solo, quando os resultados da caracterização química devem ser comparados com os valores orientadores nacionais estabelecidos para solos pela Resolução CONAMA n.° 420/2009 ou norma estadual vigente;
II. em águas sob jurisdição nacional, observando que os resultados da caracterização química devem ser comparados com os valores orientadores previstos na Tabela III do Anexo desta Resolução e classificados em dois níveis:
    a) Nível 1 - limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota; e
    b) Nível 2 – limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

O Quadro 181, sintetizado a partir da Tabela III – Níveis de Classificação do Material a ser Dragado da Resolução CONAMA n.° 454/12, apresenta os limites determinados para os metais e semimetais de interesse para o presente estudo.

Estabelece, adicionalmente, no art. 14, que a classificação do sedimento será subsidiada por avaliação ecotoxicológica a ser realizada, quando couber, em complementação à caracterização química de amostras de sedimento integral, com a finalidade de avaliar os impactos potenciais à vida aquática no local proposto para

a disposição do material dragado, em águas sob jurisdição nacional, preferencialmente, mediante a utilização de organismos do grupo dos anfípodes, tendo em conta:

I. Efeito tóxico não significativo, quando menor ou igual a 50% do efeito tóxico medido;

II. Efeito tóxico significativo, quando maior que 50% do efeito tóxico medido, de acordo com a Resolução CONAMA n.° 344/2004

Quadro 181: Níveis de classificação da qualidade de sedimento em águas doces, salobras e salinas a partir da concentração de metais pesados no sedimento. Fonte: adaptado de Resolução CONAMA n° 454/2012 (CONAMA, 2012).

Substâncias		**Níveis de classificação do material a ser dragado (em mg/kg de material seco)**			
		Água Doce		**Água Salina / Salobra**	
		Nível 1	**Nível 2**	**Nível 1**	**Nível 2**
Metais e Semimetais (mg/kg)	Arsênio (As)	5,9[1]	17[1]	19[4]	70[2]
	Cadmio (Cd)	0,6[1]	3,5[1]	1,2[2]	7,2[4]
	Chumbo (Pb)	35[1]	91,3[1]	46,7[2]	218[2]
	Cobre (Cu)	35,7[1]	197[1]	34[2]	270[2]
	Cromo (Cr)	37,3[1]	90[1]	81[2]	370[2]
	Mercúrio (Hg)	0,17[1]	0,486[1]	0,3[4]	1,0[5]
	Níquel (Ni)	18[1]	35,9[1]	20,9[2]	51,6[2]
	Zinco (Zn)	123[1]	315[1]	150[2]	410[2]

Observação:
Os valores orientadores adotados na Tabela III têm como referência as seguintes publicações oficiais canadenses, norte-americanas e europeias:

1. Environmental Canadá. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines Summary Tables. http://www.ec.gc.ca, atualizado em 2002.
2. Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. & Calder F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management 19 (1): 81-97.
3. FDEP (1994). Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters. Vol. I. Development and Evaluation of Sediment Quality Assessment Guidelines. Prepared for Florida Department of Enviromental Protection - FDEP, Office of Water Policy, Tallahasee, FL, by MacDonald Enviromental Sciences Ltd., Ladysmith, British Columbia. 1994.

4. Environmental Canada and Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation. http://www.planstlaurent.qc.ca , atualizado em 2008.
5. HPA - Hamburg Port Authority,2011: Assessment Criteria for Dredged Material with special focus on the North Sea Region. http://www.sednet.org.

8.4.3.2. Esfera estadual – histórico e antecedentes

A regularização das atividades econômicas no Estado do Rio de Janeiro deve atender às diretivas determinadas pelo Sistema Estadual de Licenciamento Ambiental (SELCA), na seção Licenciamento Ambiental, Pós-Licença e Fiscalização – https://www.lnea.rj.gov.br/licenambiental/.

O SELCA foi instituído pelo Decreto Estadual 46.890/2019 que “dispõe sobre o Sistema de Licenciamento e demais procedimentos de controle ambiental – SELCA, e dá outras providências”, define os instrumentos de controle ambiental, na Seção II, endossa a presunção de boa-fé e responsabilidade dos empreendedores e responsáveis técnicos nos processos de licenciamento, na Seção III do Capítulo I. Estipula, no Capítulo II, que o controle ambiental será baseado em desempenho, estratégia, riscos e impactos (Rio de Janeiro, 2019).

Determina, no Capítulo III, Seção I, art. 18, que os empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras, listados no Quadro 182, estarão sujeitas ao licenciamento ambiental. Bem como aquelas capazes de, sob qualquer forma, se mostrarem capazes de causar degradação ambiental, Rio de Janeiro (2019).

E, no que tange à Classificação do Impacto Ambiental, Seção II, art. 20, registra que os empreendimentos e atividades serão enquadrados em classes de acordo com o porte e potencial poluidor que, em conjunto, determinam a magnitude do impacto ambiental.

Informa, ainda, no § 1°, que o porte do empreendimento ou atividade pode ser mínimo, pequeno, médio, grande ou excepcional. No § 2°, estabelece que o potencial poluidor pode ser desprezível, baixo, médio, alto ou significativo, na forma de regulamento específico. E no § 3°, que o impacto ambiental previsto pode ser desprezível, baixo, médio, alto ou significativo como resultado do cruzamento entre o

critério de porte e potencial poluidor (Rio de Janeiro, 2019).

Quadro 182. Atividades sujeitas ao licenciamento ambiental no estado do Rio de Janeiro de acordo com o Decreto Estadual 46.890/21. Fonte: Rio de Janeiro (2019).

Grupo	Atividade sujeita ao licenciamento ambiental	Grupo	Atividade sujeita ao licenciamento ambiental
I	Extração de minerais	XVII	Produtos de matérias plásticas
II	Agricultura e extração de vegetais e silvicultura	XVIII	Têxtil
III	Pecuária e criação de outros animais	XIX	Vestuário, calçado e artefatos de tecidos
IV	Produtos de minerais não metálicos	XX	Produtos alimentares
V	Siderúrgica e metalúrgica	XXI	Bebidas
VI	Mecânica	XXII	Fumo
VII	Material elétrico e de comunicação	XXIII	Editorial e gráfica
VIII	Material de transporte	XXIV	Diversos
IX	Madeira	XXV	Unidades auxiliares de apio industrial e serviços de natureza industrial
X	Mobiliário	XXVI	Construção civil
XI	Papel e Papelão	XXVII	Álcool e açúcar
XII	Borracha	XXVIII	Saneamento e serviços de utilidade pública
XIII	Couros, peles e produtos similares	XXIX	Transporte
XIV	Química	XXX	Serviços auxiliares diversos
XV	Produtos farmacêuticos e veterinários	XXXI	Petróleo, gás e álcool carburante
XVI	Perfumaria, sabões e velas		

O licenciamento das atividades e empreendimentos listados no Quadro 182 devem observar o procedimento detalhado na Norma Operacional 46 (NOP-Inea-46), aprovada pela Resolução Inea 233/2021, de 16/08/2021, intitulada “Enquadramento de empreendimentos e atividades sujeitas ao licenciamento ambiental e demais procedimentos de controle ambiental” (Inea, 2021c).

A NOP-Inea-46 tem por objetivos dimensionar:

- os aspectos quantitativos do empreendimento ou atividade, considerando a metragem da área de produção e número de funcionários, graduado como Porte: Mínimo < Pequeno < Médio < Grande < Excepcional;

- o potencial poluidor considerando: vazão de lançamento de efluentes, geração de resíduos sólidos, armazenamento de produtos perigosos, características da espécie a ser criada ou cultivada, entre outros, graduado como Potencial Poluidor: Desprezível < Baixo < Médio < Alto.

O enquadramento da atividade é realizado para dimensionar a classe de impacto ambiental de determinado empreendimento ou atividade, tendo em conta a natureza do empreendimento, porte e potencial de poluição ambiental, observando:

- Potencial Poluidor Inicial Mínimo (PPIM) como ponto de partida que poderá, conforme o caso, assumir gradação maior com base nos parâmetros do Critério de Enquadramento (CE) específico; e
- Etapas para o enquadramento:
  1. Identificar no Anexo I o Código de Atividade Potencialmente Poluidora (CAPP) dos empreendimentos e atividades a serem licenciados;
  2. Identificar o Potencial Poluidor Inicial Mínimo (PPIM) e o Critério de Enquadramento (CE) associado ao empreendimento;
  3. Responder às perguntas no CE específico para determinação do Porte e do Potencial Poluidor (PP), quando houver perguntas sobre o PP;
  4. Adotar o Potencial Poluidor obtido com o CE se este for maior ou igual ao PPIM. Caso não haja perguntas sobre o Potencial Poluidor, será adotado o PPIM;
  5. Utilizar a tabela desta NOP-Inea-46 para determinar a classe de impacto do empreendimento ou atividade com base no Porte e no Potencial Poluidor obtidos nas 3° e 4° etapas; e
  6. Adotar a maior classe de impacto no caso de empreendimentos e atividades que possuam mais de um código, cujas unidades sejam licenciadas simultaneamente e codificadas separadamente.

Complementarmente, o Programa Estadual de Autocontrole de Efluentes Líquidos (Procon Água) é parte integrante do Sistema Estadual de Licenciamento Ambiental e demais Procedimentos de Controle Ambiental (SELCA). Exige que as

empresas poluidoras ou potencialmente poluidoras reportem ao Inea as características qualitativas e quantitativas de seus efluentes líquidos por meio do Relatório de Acompanhamento de Efluentes Líquidos (RAE), como informado por Inea (2021).

A Norma Operacional 48 (NOP-Inea-48), aprovada pela Resolução CONEMA 93 de 01/10/21, intitulada “Programa Estadual de Autocontrole de Efluentes Líquidos – Procon Água”, definiu as referências de parâmetros mínimos a serem monitorados para efluentes industriais e não sanitários de diferentes tipos de atividades industriais e de serviços. E tem por objetivo “estabelecer procedimentos e critérios pelos quais os responsáveis pelas atividades poluidoras informam regularmente ao gestor do Procon Água, o Instituto Estadual do Ambiente (Inea), por intermédio do Relatório de Acompanhamento de Efluentes Líquidos (RAE), as características qualiquantitativas de seus efluentes líquidos, como parte integrante do Sistema de Licenciamento Ambiental”, de acordo com Inea (2021).

A referida Norma Operacional de Procedimento – NOP-Inea-48 estipula os parâmetros a serem avaliados em efluentes de atividades industriais e de serviço, Quadro 183.

Já as atividades industriais e de serviços realizadas na área emersa, responsáveis por introduzir poluentes no meio e, dentre eles, metais pesados, são previstas no Anexo 3 da referida NOP-Inea-48 (Inea, 2021a) e apresentadas no Quadro 184.

Quadro 183. Parâmetros mínimos a serem monitorados de efluentes industriais e não sanitários no Procon Água. Fonte: Inea (2021).

Condições de qualidade da água	**Parâmetros mínimos a serem monitorados por tipologia de efluente industrial não sanitárioi**
Aspectos físicos	Temperatura
	Sólidos suspensos totais
	Turbidez
	Série de sólidos / (sólidos aplicáveis)
	Sólidos sedimentáveis
	Cor verdadeira
Aspectos microbiológicos	Bacteriológico
	Toxicidade
	DBO
Aspectos químicos	DQO
	Boro total
	BTEX (aplicáveis)
	Cianeto total / livre
	Cloreto
	Cloro residual total
	Clorofórmio
	Condutividade
	Dicloroeteno
	Tricloroetano
	DQO
	Etilbenzeno
	Fenóis totais / Índice de fenóis
	Fluoretos
	Fósforo total
	HPAs (aplicáveis)
	MBAS
	Nitrogênio total
	Óleos minerais – OGm
	Óleos vegetais e gorduras animais
	Outros orgânicos (aplicávei)
	Pesticidas (aplicáveis)
	pH
	Salinidade
	Substâncias solúveis em hexano
	Substâncias Tensoativas que Reagem ao Azul de Metileno (MBAS)
	Sulfatos
	Sulfetos
	Sulfito
	Sulfeto de carbono
	Tetracloreto de carbono
	Toxicidade
	Metais (aplicáveis)

Quadro 184. Atividades industriais e de serviços previstas no PROCON Água geradoras de metais pesados. Fonte: adaptado de Inea (2021).

Atividade industrial e de serviço	Parâmetro Metais Pesados
Abate de animais e preparação de conservas de carne, inclusive subprodutos	**a ser mensurado e informado**
Atividades que armazenam ou manipulam produtos inflamáveis e combustíveis (vide obs)	
Centrais terceirizadas de tratamento de efluentes industriais	**a ser mensurado e informado**
Central de tratamento de resíduos	**a ser mensurado e informado**
Curtume e processamento de couros e peles	**a ser mensurado e informado**
Estação de tratamento de água	**a ser mensurado e informado**
Extração de minérios e minerais	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de adubos, fertilizantes e corretivos do solo	
Fabricação de bebidas	**Isento**
Fabricação de borrachas sintéticas	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de cimento e clínquer e co-processamento de resíduos	
Fabricação de cloro	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de concentrados aromáticos naturais, artificiais e sintéticos	**Isento**
Fabricação de conservas do pescado	**Isento**
Fabricação de orantes e pigmentos	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de cosméticos	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de detergentes e produtos de limpeza	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de fios e fibras sintéticas	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de germicidas, inseticidas e fungicidas	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de óleos e graxas lubrificantes	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de pólvoras, explosivos, detonantes; fósforos de segurança e artigos pirotécnicos	**a ser mensurado e informado**
Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas, impermeabilizantes, secantes e resinas/massas plásticas	
Gráfica	**a ser mensurado e informado**
Indústria farmacêutica	
Indústria metalúrgica	**a ser mensurado e informado**
Indústria têxtil	**a ser mensurado e informado**
Indústria alimentícia	**Isento**
Indústria de defensivos agrícolas	
Indústria siderúrgica	**a ser mensurado e informado**
Lavanderia	**Isento**
Lixiviado de aterro sanitário	**a ser mensurado e informado**
Papel e celulose	**Isento**
Percolado de aterro industrial	**a ser mensurado e informado**
Preparação de laticínios	**Isento**
Refinaria de petróleo	**a ser mensurado e informado**
Unidade de recuperação de baterias em geral	**a ser mensurado e informado**

Observação: as células com fundo laranja referem-se às atividades que, de acordo com as referências consultadas, são fontes potenciais de metais pesados no meio a partir dos respectivos processos produtivos e efluentes líquidos, não consideradas na NOP-Inea-48.

A registrar, apenas, que os instrumentos legais e normativos federais utilizados como referência para balizar os instrumentos estaduais voltados para o controle da contaminação por atividades industriais e de serviço, listados na mesma NOP-Inea-48 (Inea, 2021), foram sinteticamente descritos na seção 4.6.4.1.

8.4.4. Câmara Técnica Costeira (CTCost) instituída no CBH-BG,

Tópico abarcado no corpo do presente documento, seção 4.6.5. . Câmara Técnica Costeira como locus de integração dos recursos hídricos e gestão costeira, página 343.

8.5. Apêndice 5 – Glossário técnico

Termos técnico-científicos utilizados ao longo da tese

Glossário multidisciplinar com termos técnico-científicos comumente utilizados ao longo da tese, elaborado para facilitar a leitura por profissionais e interessados com diferentes formações.

As entradas estão organizadas em ordem alfabética.

Aglomerado subnormal — conjunto habitacional caracterizado por ocupação desordenada de terreno alheio (público ou privado), com ausência ou precariedade de serviços públicos essenciais como saneamento, coleta de resíduos e drenagem. Constitui indicador de vulnerabilidade socioespacial relevante na análise dos passivos ambientais gerados nas bacias hidrográficas.

Analito — substância específica que se deseja detectar ou quantificar em uma amostra durante um processo de análise química. No contexto desta tese, refere-se aos metais pesados (cádmio, chumbo, cromo, cobre, mercúrio, níquel e zinco) determinados nas amostras de sedimento de fundo das baías.

Aportes antropogênicos — introdução de substâncias geralmente poluentes no meio resultantes de atividades humanas, como mineração, indústrias, agricultura, pecuária, transporte e ocou pação urbana. Distinguem-se dos aportes autogênicos (de origem natural) por apresentarem, em geral, concentrações e taxas de introdução superiores aos processos naturais.

Aportes autogênicos — introdução de substâncias no meio resultante de processos naturais, como o intemperismo químico e físico de rochas, a erosão, a volatilização de compostos e a atividade vulcânica. No caso dos metais pesados em sedimentos costeiros, constituem a fração de origem natural que define o nível de base (background) local.

Área de Preservação Permanente (APP) — área protegida pela legislação

brasileira, Lei Federal n.º 12.651/2012, dentre outras, em razão de sua função ambiental para a proteção de recursos hídricos, solos e biodiversidade. Abrange margens de cursos d'água, entornos de nascentes, topos de morro e áreas com declividade elevada onde é vedada a supressão de vegetação nativa.

Arsênio (As) — semimetal (ou metaloide) de ocorrência natural em rochas e solos, mas também introduzido no ambiente por atividades de mineração, fundição, uso de pesticidas e queima de combustíveis fósseis, dentre diversas outras atividades. Altamente tóxico, é classificado como carcinogênico do Grupo 1 pela IARC e como um dos dez compostos de maior preocupação para a saúde humana pela Organização Mundial da Saúde.

Assoreamento — processo de acúmulo progressivo de sedimentos no fundo de corpos d'água, estuários ou baías, resultante do carreamento de material por erosão das bacias hidrográficas contribuintes. Causa redução de profundidade, alterações hidráulicas e transporte de contaminantes associados às partículas sedimentares.

ACAS (Água Central do Atlântico Sul) — massa d'água de origem oceânica caracterizada por baixas temperaturas (4–18 °C) e baixa salinidade relativa que ocorre sazonalmente na plataforma continental brasileira em profundidades abaixo da termoclina. Influencia a circulação e a estrutura termohalina das baías costeiras do Rio de Janeiro, especialmente durante o verão.

Bacias hidrográficas contribuintes — áreas de drenagem cujos cursos d'água deságuam em um determinado corpo receptor, como um rio, baía ou estuário. Constituem a unidade territorial de gestão dos recursos hídricos e definem os limites geográficos para análise de fontes de poluição difusa e /ou pontual.

Background (nível de base) — concentração natural de uma substância em um substrato (solo, sedimento, água), representativa de condições anteriores à influência antropogênica. É determinado

estatisticamente a partir de amostras de referência e utilizado como linha de base para avaliação do grau de enriquecimento ou contaminação por metais pesados.

Batimetria — registro e representação cartográfica da profundidade de corpos d'água (oceanos, baías, região costeira, rios e lagos). A carta batimétrica é ferramenta fundamental para estudos de circulação oceânica, deposição de sedimentos e planejamento de obras costeiras e portuárias, além da navegação.

Bioacumulação — processo pelo qual organismos vivos incorporam e retêm substâncias (como metais pesados) a partir do ambiente em que vivem — água, sedimento ou alimento —, atingindo concentrações internas superiores às existentes no meio. A lenta eliminação pelo metabolismo contribuiu para o aumento da concentração.

Biocenose — conjunto de organismos vivos (microrganismos, fauna e flora) que habitam e interagem em um determinado biótopo ou ecossistema. Serve de indicador do estado ecológico do ambiente e da presença de contaminantes, dado que alterações ambientais impactam e causam mudanças na biocenose.

Bioindicador — organismo ou grupo de organismos cujas características biológicas (abundância, diversidade, comportamento ou teor de substâncias nos tecidos) permitem inferir o estado de qualidade ambiental de um ecossistema. Bivalves filtradores, como mexilhões e ostras, são bioindicadores amplamente utilizados para monitoramento de contaminação por metais pesados em ambientes costeiros.

Biomagnificação — aumento progressivo da concentração de uma substância tóxica ao longo dos sucessivos níveis da cadeia alimentar. Organismos nos níveis tróficos superiores (como peixes predadores e seres humanos) acumulam concentrações muito mais elevadas do que as existentes no ambiente ou nos organismos nos níveis inferiores.

Bivalves filtradores — moluscos da classe Bivalvia (ex.: mexilhões, ostras, mariscos) que se alimentam por filtração da água, retendo partículas orgânicas e inorgânicas. Por filtrarem grande volumes de água, bioacumulam poluentes e metais pesados nos seus tecidos, sendo amplamente utilizados como organismos-sentinela na avaliação da qualidade ambiental de ambientes costeiros e como indicadores de risco à saúde humana pelo consumo.

Box plot — representação gráfica da distribuição estatística de um conjunto de dados que exibe simultaneamente a mediana, os quartis (25º e 75º percentis), os valores mínimo e máximo, além dos outliers, ou valores anômalos para a série representada. Usado nesta tese para representar a variação temporal das concentrações de metais pesados no sedimento de fundo das baías.

Cádmio (Cd) — metal pesado não essencial ao organismo humano, com alta toxicidade mesmo em baixas concentrações. Introduzido no ambiente principalmente pela indústria de baterias, galvanoplastia, pigmentos e fertilizantes fosfatados. Acumula-se preferencialmente nos rins, causando disfunção renal crônica; é classificado como carcinogênico humano do Grupo 1 pela IARC.

Carcinogênico — substância, mistura ou fator ambiental capaz de induzir o desenvolvimento de neoplasias malignas (cânceres) em organismos vivos. Os metais pesados arsênio, cádmio, cromo hexavalente e níquel são classificados como carcinogênicos humanos confirmados (Grupo 1) pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC).

CBH (Comitê de Bacia Hidrográfica) — órgão colegiado de gestão participativa de recursos hídricos, previsto pela Lei Federal n.º 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos). É composto por representantes dos poderes públicos, usuários da água e sociedade civil, sendo responsável por aprovar o Plano de Recursos Hídricos e deliberar sobre o uso das águas na bacia.

Chorume — líquido resultante da decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos em aterros sanitários ou lixões, com elevada carga de compostos orgânicos dissolvidos, amônia, diversos poluentes e, dentre eles, metais pesados. Quando não tratado adequadamente, infiltra-se no solo e contamina as águas subterrâneas e superficiais constituindo sérios passivos ambientais.

Chumbo (Pb) — metal pesado neurotóxico sem função fisiológica conhecida. Introduzido no ambiente por mineração, fundição, fabricação de baterias e pigmentos. Em crianças, a intoxicação por chumbo provoca prejuízos irreversíveis ao desenvolvimento cognitivo e neurológico, mesmo em concentrações muito baixas.

CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas) — sistema brasileiro padronizado para codificação de atividades econômicas, adotado pela Receita Federal e pelo IBGE. Permite identificar empreendimentos por setor de atividade utilizado nesta tese para identificar as fontes potenciais de introdução de metais pesados em decorrência das matérias-primas, insumos e processo produtivo adotado bem como das emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos gerados.

CNPJ (Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica) — registro federal que identifica as pessoas jurídicas ativas e inativas no Brasil, administrado pela Receita Federal. Associado à CNAE, o CNPJ permite individualizar e localizar geograficamente os empreendimentos cadastrados por meio das atividades econômicas exercidas, recurso utilizado nesta tese para localizar as atividades nas bacias e regiões hidrográficas estudadas por se caracterizarem como focos potenciais de metais pesados no meio.

CNRH Conselho Nacional de Recursos Hídricos) – órgão colegiado do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), instituído pela Lei Federal n.° 9.433/1997, constituído representantes dos ministérios e secretarias do governo federal,

Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, usuários da água e organizações civis de recursos hídrico para estabelecer diretrizes complementares para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos.

CONAMA 454/2012 (Resolução) — resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente que estabelece as diretrizes e os procedimentos para o gerenciamento de material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Define dois níveis de qualidade de sedimento: Nível 1 (limiar abaixo do qual são menores as probabilidades de efeitos adversos à biota) e Nível 2 (limiar acima do qual são maiores essas probabilidades), com valores específicos para os principais poluentes incluindo metais pesados de acordo com o tipo de água presente, se doce, salobra ou salina.

Contaminação — presença de substâncias tóxicas (como metais pesados) em concentrações que excedem os padrões de qualidade ambiental estabelecidos e que podem causar danos à biota ou à saúde humana. Distingue-se de poluição, conceito mais amplo que inclui impactos negativos sobre o ambiente mesmo sem superar limites normativos específicos.

Corrente de fundo — fluxo de água que se desloca junto ao leito de um corpo d'água, frequentemente mais denso e mais salino do que as águas superficiais. Em baías costeiras, as correntes de fundo influenciam o transporte e a deposição de sedimentos finos e dos contaminantes a eles adsorvidos ou associados.

Cromo (Cr) — metal de transição que ocorre em vários estados de valência; o cromo hexavalente [Cr(VI)] é altamente tóxico, corrosivo e carcinogênico, ao passo que o cromo trivalente [Cr(III)] é de toxicidade muito menor. Introduzido no ambiente por indústrias metalúrgicas, de curtume, de tintas e termoelétricas.

CTCost (Câmara Técnica de Integração da Gestão das Bacias Hidrográficas e dos Sistemas Estuarinos e Zona Costeira) — câmara técnica no

âmbito do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), criada em 2005, responsável por articular a gestão de recursos hídricos com o gerenciamento costeiro e das áreas úmidas. Instituída Comitê de Bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá, CBH Baía de Guanabara, em 2022.

Cunha salina — intrusão de água marinha mais densa, devido a maior concentração de sal e/ou menor temperatura, que avança pelo fundo de rios, estuários ou canais fluviomarinhos em direção ao continente, sobreposta por fluxo superficial de água menos salino. É favorecida por baixas vazões fluviais e pode provocar estratificação na coluna d'água.

Denudação — processo geomorfológico de desgaste progressivo e remoção de material rochoso ou sedimentar de uma superfície pela ação combinada de intemperismo e erosão. Responsável pelo transporte de sedimentos, poluentes e metais pesados para os cursos d’águas presentes nas bacias de drenagem para os corpos d'água receptores.

Disposição oceânica (Polígono de Disposição Oceânica — PDO) — área offshore designada para o lançamento de material dragado de portos e hidrovias, após classificação conforme a Resolução CONAMA n.º 454/2012. Pode ser adotada quando o sedimento não apresenta contaminação em nível que impeça sua deposição em ambiente marinho.

Dragagem — operação de remoção mecânica de sedimentos do fundo de corpos d'água como rios e canais, onde podem se situar portos, com o objetivo de aumentar ou manter a profundidade para navegação do projeto. Algumas vezes, utilizada para recuperação ambiental. O material dragado pode conter metais pesados e outros contaminantes, exigindo caracterização e gerenciamento adequados conforme a legislação vigente.

EIA (Estudo de Impacto Ambiental) — instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal n.º 6.938/1981) que avalia antecipadamente os impactos ambientais de empreendimentos e atividades potencialmente causadoras de significativa degradação ambiental, sendo exigido como condição para o licenciamento ambiental.

Enriquecimento (fator de enriquecimento) — razão entre a concentração de um metal pesado em uma amostra e sua concentração no nível de base (background), normalizada por um elemento de referência conservador (como alumínio ou ferro). Concentrações de metais pesados superiores ao nível de base indicam contribuição antropogênica.

Escarpa serrana — forma de relevo caracterizada por vertente de grande inclinação, frequentemente originada por falhamentos ou erosão diferencial, típica da Serra do Mar no estado do Rio de Janeiro. Influencia no papel exercido pelo intemperismo, a taxa de erosão e a intensidade de carreamento de material sedimentar para as baías costeiras.

Espectroscopia — conjunto de técnicas analíticas que identificam e quantificam substâncias com base na interação da matéria com a radiação eletromagnética. Nesta tese, refere-se sobretudo à espectrometria de absorção atômica (EAA) e à espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), utilizadas para determinação das concentrações de metais pesados em amostras de sedimento.

Estuário — corpo d'água semifechado com livre comunicação com o oceano, onde a água doce proveniente do continente se mistura com a água salgada marinha, criando gradientes de salinidade. É um dos ecossistemas costeiros mais produtivos e biologicamente relevantes, porém também dos mais suscetíveis à acumulação de contaminantes devido a ocuapação urbana e industrial do entorno,

agravado pela baixa hidrodinâmica e restrita circulação das águas.

Estresse oxidativo — desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs/ROS) e a capacidade dos mecanismos antioxidantes celulares de neutralizá-las. Metais pesados como cádmio, chumbo e mercúrio são indutores de estresse oxidativo, levando a danos em proteínas, lipídios e DNA, com potencial carcinogênico e citotóxico.

Fácies sedimentar — conjunto de características físicas, químicas e biológicas de um sedimento (granulometria, composição mineralógica, estrutura, cor, teor de matéria orgânico) que permitem sua identificação e interpretação em termos do ambiente deposicional. A distinção entre fácies lamosas e arenosas é relevante para a distribuição espacial dos metais pesados, que se adsorvem preferencialmente às partículas finas que caracterizam os depósitos de constituídos por lama, dentre outros sedimentos finos.

Faixa Ribeira — faixa de dobramentos resultado de tensões, pressões e esforços tectônicos com idade neoproterozoica, que constitui o embasamento geológico da região sudeste do Brasil, incluindo o estado do Rio de Janeiro. Sua evolução tectônica complexa gerou os arcos magmáticos e os cinturões metamórficos presentes na área das três baías estudadas.

Fontes difusas (poluição difusa) — fontes de poluição sem um ponto de lançamento definido, identificado ou mapeável, caracterizadas pela dispersão de poluentes ao longo de uma área extensa, geralmente associadas ao escoamento superficial de águas pluviais em áreas agrícolas e urbanas, aplicação de biocidas, erosão do solo, sistemas de transportes rodoviário, ferroviário e hidroviário, que dificultam o controle e o monitoramento ambiental.

Fontes pontuais — fontes de poluição com ponto de lançamento identificável e definido, como emissários para efluentes industriais e urbanos, tubulações de esgoto e efluentes de estações de tratamento.

Possibilitam localização, monitoramento e controle mais eficaz do que as fontes difusas.

Galvanoplastia — processo eletroquímico de deposição de uma fina camada de metal sobre a superfície de um objeto (metálico ou não), com finalidades de proteção anticorrosiva, acabamento estético ou condutividade elétrica. Gera efluentes e resíduos com alta concentração de metais pesados (cádmio, chumbo, cromo, cobre, níquel, zinco), constituindo uma das principais fontes industriais de contaminação ambiental.

Geocodificação — processo de associar coordenadas geográficas (latitude e longitude ou coordenadas UTM) a endereços ou registros alfanuméricos (disponíveis no CNPJ dos empreendimentos). Permite representar espacialmente em sistemas de informação geográfica (SIG) dados que originalmente não possuem localização geográfica explícita.

Geomorfologia — ciência que estuda as formas do relevo terrestre, suas origens, evolução e os processos que as moldam (intemperismo, erosão, transporte e deposição). No contexto desta tese, as unidades geomorfológicas demonstram dinâmica e o potencial de carreamento de sedimentos e metais pesados para as baías.

Granulometria — distribuição do tamanho das partículas que compõem uma amostra de sedimento ou solo. Sedimentos de granulometria fina (silte e argila) têm maior superfície específica e capacidade de adsorção de metais pesados que sedimentos grossos (areia), configurando ambientes e indicadores privilegiados para avaliação da contaminação em ambientes aquáticos.

Graben — estrutura geológica em forma de depressão formada entre dois falhamentos normais paralelos, pela subsidência de um bloco rochoso central. O Graben da Guanabara, originado pela tectônica extensiva da margem continental brasileira, possibilitou a configuração da região conhecida como Baía de Guanabara.

Hidrodinâmica costeira — conjunto de processos físicos que governam o movimento das águas em regiões costeiras, incluindo correntes de maré, correntes induzidas por vento, gradientes de densidade e ondas. Determina o padrão de transporte e deposição de sedimentos e contaminantes nas baías e região costeira próxima.

IQA (Índice de Qualidade das Águas) — indicador sintético que agrega parâmetros físico-químicos e biológicos (como temperatura, pH, OD, DBO, nitrogênio, fósforo e coliformes) para expressar em uma escala numérica a qualidade de um corpo d'água. Amplamente usado no monitoramento de corpos d'águas em bacias hidrográficas brasileiras.

Intemperismo — conjunto de processos físicos (fragmentação mecânica) e químicos (dissolução, oxidação, hidrólise) que promovem a desintegração e alteração das rochas na superfície terrestre diminuindo progressivamente o tamanho do grão e transformando-as em sedimento. Libera metais pesados presentes na composição mineralógica das rochas para o solo e os corpos d'água, constituindo a fonte autogênica desses elementos.

Licenciamento ambiental — procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente avalia e autoriza a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades potencialmente poluidoras. É composto, em geral, por três licenças: Prévia (LP), de Instalação (LI) e de Operação (LO).

Litologia — descrição e classificação das rochas quanto à sua composição mineralógica, textura, estrutura e origem. A litologia das bacias de drenagem influencia diretamente a composição geoquímica dos sedimentos transportados para as baías e o background, ou nível de base, de metais pesados da região.

Maré astronômica — variação periódica do nível do mar causada pela atração gravitacional da Lua e do Sol, além dos outros planetas, sobre a massa d'água oceânica. Na costa sudeste brasileira, as

marés são do tipo semidiurno (duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar), com alturas distintas.

Maré de sizígia — maré de maior amplitude que ocorre mas luas cheia e nova, quando o Sol, a Lua e a Terra se alinham, resultando na soma das forças gravitacionais. Produz as preamares mais altas e as baixa-mares mais baixas do ciclo lunar e, portanto, as maiores amplitudes de maré.

Maré de quadratura — maré de menor amplitude durante os quartos da Lua (quarto crescente e quarto minguante), quando o Sol e a Lua formam ângulo reto em relação à Terra resultando em menor diferença, e menor amplitude, entre preamares e baixa-mares.

Maré meteorológica — variação do nível relativo do mar causada por fatores meteorológicos como vento, chuva e pressão atmosférica, superposta às variações das marés astronômicas. Pode amplificar ou reduzir os níveis de água esperados, especialmente durante sistemas frontais.

Manguezal — ecossistema costeiro característico de regiões tropicais e subtropicais, situado na zona de entremarés, formado por espécies vegetais adaptadas a solos lamosos, salinos e com baixa concentração de oxigênio. Exerce funções ecológicas relevantes como berçário de espécies aquáticas, proteção de linhas de costa e retenção de sedimentos e contaminantes, incluindo metais pesados.

Mercúrio (Hg) — metal pesado altamente tóxico, especialmente na forma orgânica (metilmercúrio), que se bioacumula e biomagnifica na cadeia alimentar aquática. A exposição humana ocorre principalmente pelo consumo de peixes e frutos do mar contaminados. Causa danos neurológicos graves, especialmente em fetos e crianças.

Metais pesados — designação convencional para um grupo de elementos metálicos (e alguns semimetais) com densidade elevada e toxicidade para organismos vivos mesmo em baixas concentrações.

Entre os mais estudados em ambientes costeiros estão cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e zinco (Zn). A definição do termo é objeto de debate na literatura científica, mas mantém uso consagrado em geoquímica ambiental e toxicologia e pode ser utilizado como sinônimo de metais-traço.

Metamorfismo — processo geológico de transformação de rochas preexistentes (ígneas, sedimentares ou metamórficas) por ação de calor, pressão, presença de fluidos e tempo, sem fusão. As rochas metamórficas presentes no embasamento cristalino das regiões hidrográficas estudadas determinam em parte a composição geoquímica e o background de metais pesados nos sedimentos.

Monitoramento ambiental — conjunto sistemático de observações, medições e avaliações de parâmetros ambientais físico, químicos, microbiológicos, botânicos, zoológicos e socioeconômico ao longo do tempo, com o objetivo de acompanhar as condições de qualidade de um recurso natural e detectar tendências de melhora ou degradação. É instrumento fundamental do licenciamento ambiental e da gestão de recursos hídricos.

Nível 1 (Resolução CONAMA 454/2012) — limiar de concentração de uma substância no sedimento abaixo do qual a probabilidade de efeitos adversos à biota aquática é considerada baixa. Sedimentos com concentrações de metais pesados abaixo do Nível 1 são, em princípio, passíveis de disposição em ambiente aquático com potencialmente baixa capacidade de resultar em impactos químicos.

Nível 2 (Res. CONAMA 454/2012) — limiar de concentração de uma substância no sedimento acima do qual a probabilidade de efeitos adversos à biota aquática é elevada. Sedimentos que excedam o Nível 2 para um ou mais parâmetros devem ter sua disposição avaliada de forma criteriosa, podendo exigir disposição em ambiente terrestre ou tratamento prévio.

Níquel (Ni) — metal de transição introduzido no ambiente por atividades metalúrgicas, de mineração, refinamento de petróleo e incineração de resíduos. Em doses elevadas, é nefrotóxico, imunotóxico e carcinogênico por inalação (especialmente compostos de níquel).

Outlier (valor discrepante, anômalo ou atípico de uma amostra) — valor observado em um conjunto de dados que se afasta significativamente dos demais, podendo indicar erro na coleta ou método analítico adotado, falha na transposição dos resultados, amostragem em local atípico ou contaminação da amostra. No contexto desta tese, outliers nas concentrações de metais pesados no sedimento podem distorcer as análises estatísticas e merecem investigação específica.

Passivo ambiental — conjunto de danos, contaminações ou degradações ambientais acumulados ao longo do tempo, resultantes de atividades humanas, que representam obrigações ou responsabilidades não cumpridas em relação ao meio ambiente. No contexto desta tese, refere-se tanto à contaminação histórica do solo nas áreas de drenagem por atividades humanas como do sedimento do fundo das baías, por metais pesados, sem que ações de avaliação, remediação e monitoramento tenham sido adotadas.

Pesca artesanal — atividade pesqueira de pequena escala, praticada por pescadores que atuam de forma autônoma ou cooperativa, em embarcações de pequeno porte, utilizando métodos e apetrechos tradicionais. Constitui fonte de subsistência e renda para comunidades costeiras e está diretamente exposta aos riscos de contaminação dos recursos pesqueiros como moluscos, crustáceos e peixes, por poluentes e, principalmente, metais pesados.

Plataforma continental — prolongamento submerso da crosta continental, com declividade suave, que se estende desde o continente até a quebra do talude oceânico, onde se dá o seu término. É o ambiente onde ocorrem importantes processos sedimentares, pesqueiros e de

interação oceano-continente.

PNRH (Plano Nacional de Recursos Hídricos) — plano de gestão de longo prazo das águas brasileiras, elaborado com ampla participação social, que estabelece diretrizes, metas e programas para assegurar o uso sustentável dos recursos hídricos no país, incluindo sua integração com o gerenciamento costeiro.

PNGC (Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro) — desdobramento da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM) e da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), que almeja orientar a utilização racional dos recursos da zona costeira brasileira de forma a contribuir para elevar a qualidade de vida de sua população e assegurar a manutenção e recuperação do patrimônio natural, histórico, étnico e cultural inerente à região costeira.

Poluição difusa — ver Fontes difusas.

PPM (partes por milhão) — unidade de concentração que expressa a quantidade de uma substância em relação a uma massa de meio (sedimento, solo) ou volume de fluido. Em análises de sedimento, 1 ppm equivale a uma miligrama de metal pesado por quilograma de sedimento seco. Ou, ainda, uma micrograma de metal pesado por grama de sedimento seco.

Ramsar (Convenção de Ramsar) — tratado internacional voltado para a conservação e uso racional de zonas úmidas, firmado em Ramsar (Irã) em 1971 e ratificado pelo Brasil em 1996. Define os critérios para designação de "Sítios Ramsar" — áreas úmidas de importância internacional — e estabelece compromissos de conservação dos ecossistemas úmidos e populações que deles dependem nos países signatários.

Regolito — camada superficial de material não consolidado (fragmentos de rocha, solo e sedimento) resultante do intemperismo da rocha-mãe anteriormente presente. Constitui o substrato do solo e o meio a partir do qual os metais pesados são mobilizados e transportados

para cursos d'água e baías por processos erosivos, autogênicos.

Região Hidrográfica (RH) — unidade territorial de gestão de recursos hídricos definida pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), formada por uma bacia hidrográfica ou um conjunto de bacias com características físicas, socioeconômicas e institucionais afins. Essa determinação foi utilizada para individualizar as RHs V - Baía de Guanabara, II - Guandu/Baía de Sepetiba e I - Baía de Ilha Grande.

Remediação ambiental — conjunto de técnicas e intervenções destinadas a reduzir ou eliminar a contaminação de solos, sedimentos ou corpos d'água, restabelecendo condições compatíveis com as características do corpo d'água e usos múltiplos pretendidos. Para sedimentos contaminados por metais pesados, as principais opções incluem a contenção in situ, a dragagem seguida de tratamento e a biorremediação.

Resolução CONAMA — ato normativo expedido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), com força vinculante para as políticas ambientais brasileiras. Exemplos relevantes nesta tese: Resoluções n.º 344/2004, n.º 357/2005, n.º 420/2009 e n.º 454/2012, no Apêndice 8.4.3 Instrumentos reguladores de atividades antropogênicas com potencial de introduzir metais pesados na região costeira do Rio de Janeiro, página 533.

Restinga — ecossistema costeiro formado por depósitos arenosos litorâneos, paralelos à linha de costa, originados por processos marinhos e eólicos. Pode separar corpos d'água (lagoas, baías) do oceano aberto e apresenta vegetação adaptada às condições de solo arenoso, alta salinidade e instabilidade sedimentar.

RH I, II, V — Ver Região Hidrográfica.

Rifteamento — processo tectônico de estiramento e ruptura da litosfera,

formando grábens e bacias sedimentares. O rifteamento continental do sudeste brasileiro, ocorrido no Cretáceo-Paleógeno, originou o Graben da Guanabara e condicionou a localização e morfologia das baías estudadas.

ROS - Espécies Reativas de Oxigênio / Reactive Oxygen Species) — moléculas quimicamente reativas derivadas do metabolismo do oxigênio (como peróxido de hidrogênio, radicais hidroxil e superóxido). Metais pesados como cádmio, chumbo e mercúrio induzem a produção de ROS nos tecidos, desencadeando estresse oxidativo, câncer e apoptose, ou morte, celular.

Rotas de exposição — vias pelas quais um contaminante entra em contato com o organismo humano: inalação (trato respiratório), ingestão de alimentos e água (trato gastrointestinal) e absorção dérmica (pele). A avaliação das rotas de exposição é fundamental na análise de risco à saúde humana decorrente de metais pesados.

Salinidade — teor total de sais dissolvidos em um determinado volume de água, expresso em gramas por litro (g/L). A salinidade é parâmetro fundamental para classificar massas d'água (doce, salobra, salina) e influencia tanto a especiação química como a disponibilidade biológica dos metais pesados em ambientes aquáticos.

Sedimento de fundo — material particulado (areia, silte, argila, matéria orgânica) depositado no leito de corpos d'água. Atua como reservatório de metais pesados e outros contaminantes, sendo o substrato preferencial para amostragem e avaliação da qualidade ambiental em estudos de contaminação costeira.

Sítio Ramsar — ver Ramsar.

SIG (Sistema de Informações Geográficas) — sistema computacional que integra, armazena, processa e representa em organizadores espaciais de informações, ou mapas, dados georreferenciados, permitindo análises espaciais e cartográficas. Nesta tese, foi utilizado para mapear fontes potenciais de metais pesados na rede

hidrográfica da área emersa além de pontos de coleta de sedimento e resultados das análises de concentração no ambiente aquático.

SINGREH (Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos) — estrutura institucional estabelecido pela Lei n.º 9.433/1997 que articula os órgãos e entidades responsáveis pela gestão dos recursos hídricos no Brasil, incluindo o CNRH, os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs), a Agência Nacional de Águas (ANA) e os órgãos estaduais.

Tectônica — conjunto de processos geológicos que envolvem os esforços responsáveis pelo dobramentos, falhas, ruptura, movimentação e deformação das placas litosféricas e dos corpos rochosos. A tectônica extensiva responsável pelo rifteamento do sudeste brasileiro condicionou a geomorfologia, a hidrografia e a formação das baías costeiras estudadas.

Termoclina — camada da coluna d'água em que ocorre variação abrupta de temperatura com a profundidade, separando camadas de água com temperatura mais quentes das camadas profundas, mais frias. Limita a mistura vertical da água na coluna e influencia a distribuição de nutrientes, oxigênio e contaminantes.

Testemunho (de sedimento) — coluna de sedimento coletada verticalmente no leito de corpos d'água ou áreas emersas por meio de equipamento (testemunhador/corer), com a sequência estratigráfica das camadas depositadas preservada. Permite reconstituir o histórico de contaminação (cronologia da deposição de metais pesados) ao longo do tempo ao relacionar a concentração obtida em cada profundidade com a idade em que se depositou.

Toxicidade — capacidade de uma substância causar danos a organismos vivos. No caso dos metais pesados, a toxicidade varia com o elemento, sua forma química (especiação), concentração, duração da exposição e características do organismo exposto (espécie, idade, estado nutricional).

UHP (Unidade Hidrológica de Planejamento) — subdivisão das Regiões Hidrográficas adotada no Rio de Janeiro para refinamento da gestão dos recursos hídricos, baseada em características hidrológicas, físicas e socioeconômicas homogêneas. Constitui recurso para análise espacial complementar aos Planos de Recursos Hídricos.

Unidade de Conservação (UC) — espaço territorial legalmente instituído pelo poder público com limites definidos e regime legal especial para administração, visando à conservação da natureza. Inclui categorias de proteção integral (como parques e estações ecológicas) e uso sustentável (como APAs e Reservas Extrativistas), previstas no Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), instituído pela Lei Federal nº 9.985/2000).

UTM (Universal Transverse Mercator) — sistema de projeção cartográfica plana, de coordenadas métricas, que divide o globo terrestre em fusos com 6° de longitude. Amplamente adotado na cartografia técnica brasileira, foi o sistema de referência utilizado nesta tese para uniformizar as coordenadas dos pontos de coleta de sedimento.

Xenobiótico — substância química estranha ao metabolismo de um organismo vivo, incluindo poluentes, fármacos e metais pesados. O organismo responde aos xenobióticos por meio de sistemas enzimáticos de biotransformação, podendo converter substâncias originalmente não tóxicas em metabólitos tóxicos, ou vice-versa.

ZEE (Zoneamento Ecológico-Econômico) — instrumento de planejamento territorial previsto na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal n.º 6.938/1981) que busca ordenar o uso do território a partir de informações relacionadas limitação e fragilidade dos recursos naturais e demandas socioeconômicas. O ZEEC (ZEE Costeiro) aplica esse instrumento especificamente à zona costeira.

Zinco (Zn) — micronutriente essencial aos organismos vivos em baixas concentrações, mas tóxico quando presente em excesso.

Introduzido no ambiente sobretudo pela galvanização de metais, mineração, metalurgia e drenagem de rodovias (desgaste de pneus e freios). Foi um dos principais contaminantes identificados na Baía de Sepetiba nas décadas de 1980 e 1990, associado à indústria da Cia. Mercantil e Industrial Ingá.

Zona Costeira — espaço geográfico de interação entre o continente e o oceano, incluindo os ambientes terrestres, aquáticos e marinhos adjacentes à costa. É definida pela Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM) e pelo PNGC, constituindo objeto prioritário de gestão ambiental integrada em virtude de sua alta biodiversidade e intensa pressão antrópica.

Nota:

As definições apresentadas neste glossário foram elaboradas em conformidade com os termos e conceitos utilizados ao longo desta tese.

Apresentam, portanto, caráter orientativo e uniformizador de significados para leitores com diferentes formações.

O presente glossário foi elaborado com auxílio de inteligência artificial.