



MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS NA ÁGUA DA REGIÃO ADJACENTE À BASE DE SUBMARINOS DA ILHA DA MADEIRA, BAÍA DE SEPETIBA, BRASIL

*Autores: Fernanda Freyesleben Thomazelli¹
Nafisa Rizzini Ansari²
Emanuele Pereira do Monte Paganelly Batista³
Rafaella Fontoura de Oliveira⁴
Monique Dias Corrêa de Souza⁵
CMG Márcio Martins Lobão⁶*

RESUMO

No presente estudo foram determinadas as concentrações de metais e parâmetros físico-químicos em amostras de água coletadas na região adjacente ao complexo naval da Base de Submarinos da Ilha da Madeira, durante a fase de instalação/ operação e em um ponto controle, ambos localizados na Baía de Sepetiba/RJ. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água, utilizando a Resolução CONAMA Nº

357/2005 como referência. Os metais pesados, apesar de estarem entre os contaminantes de maior preocupação ambiental para a Baía de Sepetiba, apresentaram, em geral, concentrações abaixo dos limites permitidos pela RC 357/05. Tais resultados indicam que as obras realizadas não impactaram de forma significativa o ambiente estudado. Para uma análise integrada dos dados, utilizou-se o Índice de Qualidade de águas Costeiras, que indicou uma boa qualidade da água na área de estudo.

¹Assessor Técnico em Oceanografia na Fundação de Estudos do Mar (FEMAR) a serviço do IEAPM. Bacharel em Oceanografia pela UNIVALI. Mestrado e Doutorado em Geociências (Geoquímica Ambiental) pela UFF.

²Ajudante da Divisão de Oceanografia Química e Geoquímica Ambiental no IEAPM. Bacharel em Oceanografia pela UERJ. Mestrado e Doutorado em Geociências (Geoquímica Ambiental) pela UFF.

³Encarregada da Divisão de Oceanografia Química e Geoquímica Ambiental no IEAPM. Engenheira Química pela UFF. Mestre em Ciências da Engenharia Química pela COPPE-UFRJ. 4Ajudante da Divisão de Oceanografia Química e Geoquímica Ambiental no IEAPM. Engenheira Química pela UERJ.

⁵Assessor Técnico em Química na Fundação de Estudos do Mar (FEMAR) a serviço do IEAPM. Química Industrial pela UFF. Mestre em Geociências (Geoquímica Ambiental) pela UFF.

⁶Chefe do Depto. de Oceanografia do IEAPM Engenheiro Químico pela FURG. Mestrado em Química Analítica pela UFRJ. Doutorado em Oceanografia Física, Química e Geológica pela FURG.

**Palavras-chave:**

Metais; Água; Baía de Sepetiba; Qualidade da água.

ABSTRACT

In this study, metal concentrations and physical-chemical parameters were determined in water samples collected in the region adjacent to the naval complex of the Base de Submarinos da Ilha da Madeira during the installation/operation phase and at a control point, both located in the Sepetiba Bay/RJ. This work aimed to assess water quality, using the CONAMA Resolution No. 357/2005 (RC 357/05) as a reference. Heavy metals, despite being among the contaminants of greatest environmental concern for Sepetiba Bay, presented, in general, concentrations below the limits allowed by RC 357/05. Such results indicate that the constructions carried out did not significantly impact the studied environment. For an integrated analysis of the data, the Coastal Water Quality Index was used, which indicated good water quality in the study area.

Keywords:

Metals; Water; Sepetiba Bay; Water quality.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais, com cerca de 8,5 mil quilômetros de costa. Nosso país tem no mar uma forte referência em todo o seu desenvolvimento, sendo este ambiente uma importante fonte de riquezas minerais, energia e alimentos (PROSUB, 2021). Por via marítima são transportados aproximadamente 95% de todo o nosso comércio internacional. A

maior parte das reservas do petróleo brasileiro está armazenada no subsolo oceânico, com as bacias de Campos e de Santos respondendo pela maior parte do petróleo extraído em nossas águas (PETROBRAS, 2021). A indústria da pesca ainda responde por uma importante parcela dos alimentos consumidos pelos brasileiros, sobretudo no litoral. A imensa riqueza das águas, do leite e do subsolo marinho nessa parcela do território brasileiro justifica seu nome: Amazônia Azul (PROSUB, 2021).

A Marinha do Brasil, para proteger o patrimônio natural existente na Amazônia Azul e garantir a soberania brasileira no mar, passou a investir na expansão da força naval e no desenvolvimento da indústria brasileira da defesa, em cumprimento ao disposto na Estratégia Nacional de Defesa (END) do nosso país (Ministério da Defesa, 2008). O Programa de Desenvolvimento de Submarinos – PROSUB (PROSUB, 2021) é parte essencial desse investimento, como parte dos esforços empreendidos para dotar o país de uma "força naval de envergadura", incluindo a construção de submarinos com propulsão nuclear. Para a construção de um complexo naval/industrial que possibilitasse colocar em prática tal empreendimento, havia necessidade de buscar uma área adequada para a construção de submarinos de uso militar, cumprindo requisitos que propiciassem a integração do PROSUB à indústria brasileira de Defesa. Estudos coordenados pela Marinha do Brasil apontaram a região da Ilha da Madeira, localizada em Itaguaí, nas margens da Baía de Sepetiba, como um local propício tanto para a instalação de uma base de submarinos quanto para a construção de um estaleiro voltado para a produção de submarinos de propulsão convencional e nuclear. A escolha desse local levou em consideração, entre outros fatores, a disponibilidade de infraestrutura



industrial já adaptada para empreendimentos específicos, como a existente na empresa Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (NUCLEP), inaugurada em 1980 para atender demandas específicas do Programa Nuclear Brasileiro, como as das usinas nucleares de Angra I, II e III (NUCLEP, 2020).

Em função da expansão da região metropolitana do Rio de Janeiro, a Baía de Sepetiba vem sofrendo grandes modificações em suas estruturas espaciais, sociais e ecológicas. O processo de industrialização, ocupação e urbanização ao longo da região, tem sido responsável pela introdução de contaminantes em suas águas, fazendo da região a segunda principal receptora de efluentes do Estado. Devido à relevância de suas fontes e à potencialidade de impacto no ambiente marinho, pode-se destacar como os grupos mais importantes de agentes poluidores originados pelas atividades humanas os componentes do esgoto doméstico, os compostos oleosos de origem petrogênica e os metais pesados (MELGES-FIGUEIREDO, 1999).

A região da Baía de Sepetiba também tem sido severamente afetada pela contaminação por metais nas últimas décadas, apresentando altas concentrações desses elementos, principalmente no sedimento. Estas estão associadas aos despejos urbanos e industriais, mormente oriundos de metalurgia, produtos químicos, plásticos e borrachas, processamento de alimentos, além de atividades portuárias para o escoamento de minérios e navegação (LACERDA *et al.*, 2001; RODRIGUES *et al.*, 2017), os quais podem contribuir para o aporte de metais pesados para a Baía de Sepetiba. A Companhia Mercantil e Industrial Ingá, apesar de ter encerrado suas atividades há pouco mais de duas décadas (1998), deixou um grande

passivo ambiental, sendo responsável por grande parte da contaminação observada na região, principalmente por elementos-traço, como cádmio, zinco, mercúrio e chumbo (GOMES *et al.*, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2017).

Tendo em vista a preocupação da Marinha do Brasil e dos órgãos ambientais com a preservação do meio ambiente na região de influência do local, onde se encontra instalado o complexo naval/industrial da Base de Submarinos da Ilha da Madeira – BSIM, foi estabelecido um programa de monitoramento ambiental dedicado ao empreendimento. Por meio deste programa, o qual se encontra em andamento desde o ano de 2011, buscou-se registrar (com o monitoramento da qualidade da água, da biota, de metais pesados e radionuclídeos artificiais) as condições prévias à instalação da BSIM e a evolução da qualidade ambiental no entorno do empreendimento, de modo a estabelecer uma linha de base e determinar a sua eventual influência na região.

Este trabalho tem por objetivo apresentar e discutir os resultados das concentrações de metais em amostras de água coletadas na região adjacente ao complexo naval da Ilha da Madeira entre os anos de 2017 a 2020. As amostras analisadas foram obtidas nas campanhas de Monitoramento da Qualidade da Água realizadas pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A Baía de Sepetiba localiza-se na região sudeste do Brasil, no litoral do Estado do Rio de Janeiro, compreendida entre as latitudes 22°53'S e 23°05'S e as longitudes 043°35'W e 044°03'W, a 60 km da



cidade do Rio de Janeiro. Sua formação ocorreu com o fechamento da Restinga da Marambaia, resultando em um grande corpo de água salinas e salobras, semiconfinado, com aproximadamente 305 km² de área e um perímetro de 130 km (Figura 1).

Considerada um dos ecossistemas aquáticos mais importantes do Estado do Rio de Janeiro, a Baía de Sepetiba apresenta algumas áreas de mangues e zonas estuárias, propiciando a criação natural de peixes, crustáceos e moluscos, sendo a pesca uma das atividades de maior importância sócio-econômica da região.

A partir da década de 60/70, houve uma grande expansão industrial e turística em toda a região, acompanhada de um grande crescimento populacional, ocasionando uma forte pressão antrópica em toda sua bacia de drenagem, resultando em modificações de suas estruturas espaciais, sócio-econômicas e ecológicas. Como consequência, a Baía de Sepetiba começou a sofrer com os impactos ambientais em decorrência da destruição de seus ecossistemas periféricos, construções irregulares de aterros, lançamento indiscriminado de efluentes urbanos e industriais de fontes variadas, bem como pela mudança no uso do solo.

O parque industrial da bacia da Baía de Sepetiba é caracterizado por um conjunto de aproximadamente 400 empresas, constituindo-se, dessa forma, um dos maiores polos industriais do Estado do Rio de Janeiro. Encontram-se instaladas na região indústrias de metalurgia, de maior relevância econômica, seguida de indústrias químicas, além de bebidas, têxtil, minerais não metálicos, editoriais e gráficas, grande parte delas concentradas nos distritos industriais de Queimados, Itaguaí, Campo Grande e Santa Cruz.

A Baía de Sepetiba é considerada o segundo principal corpo receptor de

efluentes industriais do Estado, principalmente de metais pesados, derivados da indústria minero-metalúrgica (AMADO FILHO *et al.*, 1999) que utilizam alumínio, ferro e zinco em seus processos.

2.2 Amostragem

Durante o período de set/2017 a ago/2020 foram realizadas coletadas quinzenais para a determinação de parâmetros físico-químicos da água. As coletas de água foram realizadas em cinco pontos amostrais na Baía de Sepetiba, sendo quatro pontos na área de influência do empreendimento (P1, P3, P4 e P5) e um na entrada da baía, considerado ponto controle (PC) (Figura 1). O PC está localizado próximo à Ilha do Vigia e por estar distante do empreendimento, não sofre influência do mesmo. O ponto P1 encontra-se no canal existente entre a Ilha da Madeira e a Ilha de Itacuruçá; o P3 está localizado no Saco da Coroa Grande, na zona de mistura do efluente da Unidade de Tratamento de Esgoto do Canteiro Norte; o P4 está situado entre o cais de acesso ao empreendimento, na Ilha da Madeira, sendo a área diretamente afetada pelo mesmo; e o P5, está localizado na área externa do molhe de acesso ao empreendimento e compreende a zona de mistura do efluente da Unidade de Tratamento de Esgoto do Canteiro Sul. As coordenadas geográficas e as batimetrias dos pontos amostrais obtidos no momento da coleta encontram-se na Tabela 1.

De acordo com a batimetria de cada ponto amostral, foram coletadas amostras de água em diferentes profundidades: entre 0 e 3 metros de coluna d'água foi coletada uma única amostra na subsuperfície; entre 3 e 6 metros, foram coletadas amostras na superfície e fundo; e em locais com batimetria superiores a 6 metros foram coletadas amostras na superfície, meio e fundo.



Figura 1 – Localização dos pontos amostrais na Baía de Sepetiba.

Tabela 1 – Estações de coleta, coordenadas geográficas e batimetria média obtida no momento da coleta.

Pontos amostrais	Latitude	Longitude	Batimetria (m)
PC	23°01,068' S	043°57,527' W	9,3
P1	22°55,446' S	043°51,732' W	4,5
P3	22°54,831' S	043°50,801' W	1,7
P4	22°55,701' S	043°50,944' W	11,0
P5	22°55,848' S	043°50,701' W	4,0



As amostras de água foram coletadas com garrafas oceanográficas do tipo Van Dorn e em cada lançamento, foram retiradas subamostras de água que foram armazenadas em frascos apropriados e refrigeradas para a determinação dos metais e carbono orgânico total (COT). O oxigênio dissolvido, pH, potencial de oxirredução, temperatura, salinidade e sólidos dissolvidos totais foram medidos *in situ* por meio de uma sonda multiparâmetros U-52, da marca HORIBA. Estes dados serão discutidos de maneira geral com foco na sua influência no comportamento dos metais no ambiente.

2.3 Análises Químicas

Para a determinação de metais, as amostras de água passaram por uma digestão ácida e posteriormente foram introduzidas no espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) que mede o espectro de emissão dos metais constituintes emitidos durante a passagem das amostras por uma tocha de plasma de argônio. Foram determinados o arsênio (As), alumínio dissolvido (Al), bário (Ba), cádmio (Cd), cobre dissolvido (Cu), cromo (Cr), chumbo (Pb), ferro dissolvido (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), selênio (Se) e urânio (U) e zinco (Zn). As metodologias analíticas utilizadas foram US EPA 6010 e US EPA 7000. Para a determinação dos metais pesados totais utilizou-se a amostra integral. Já para os metais dissolvidos (Al, Cu e Fe), antes da acidificação foi realizada a filtração da água por filtro de fibra de vidro 0,45 µm.

A concentração de COT foi determinada por meio da metodologia analítica SM 5310.

2.4 Análises Estatísticas

Para a análise dos dados utilizou-se a mediana como medida estatística significativa. Enquanto para a comparação das

amostras utilizou-se o teste Kruskal-Wallis, um método não paramétrico para testar se as amostras são provenientes da mesma distribuição. Quando o teste Kruskal-Wallis demonstrou diferença estatística significativa, utilizou-se a comparação pareada pelo teste estatístico de Mann-Whitney para a comparação ponto a ponto. Adotou-se o valor de α igual a 0,05 (ou $1 - \alpha = 0,95$) para considerações de significância estatística.

2.5 Avaliação da qualidade da água

A fim de verificar a qualidade da água na Baía de Sepetiba foi utilizada a Resolução CONAMA No 357/05 (RC 357/05) como referência e o Índice de Qualidade de Águas Costeiras (IQAC) (CETESB, 2014).

A RC 357/05 é um dos principais instrumentos ambientais legais adotado no Brasil para este fim. De acordo com as classes de qualidades especificadas na resolução, os pontos amostrais foram enquadrados como classe 1 de águas salinas, destinada à recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas, à aquicultura e à atividade de pesca.

Para a avaliação da qualidade da água, adotou-se ainda o IQAC, índice utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2014) e elaborado pelo Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2001). O IQAC visa a integração das informações geradas, agregando os dados mais relevantes e gerando uma classificação que reflete um diagnóstico das áreas avaliadas. Uma grande vantagem deste índice é o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade T. Dos 26 parâmetros utilizados no monitoramento, 21 foram selecionados para o cálculo do IQAC, pois apresentam limites estabelecidos pela RC 357/05 para classe 1 de água salina. Estes



parâmetros são: alumínio dissolvido, arsênio, bário, cádmio, carbono orgânico total, coliformes termotolerantes, cromo, cobre dissolvido, ferro dissolvido, manganês, níquel, chumbo, selênio, zinco, urânio, pH, oxigênio dissolvido, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total e fósforo total. O IQAC classifica as águas em cinco categorias de acordo com a qualidade observada: excelente, boa, regular, ruim e péssima.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das concentrações dos metais nas amostras de água são apresentados na forma de medianas e faixas de concentração (limites mínimos e máximos registrados ao longo do período amostral) das concentrações para cada ponto amostral (Figuras 2, 3 e 4). Considerou-se para esta análise, todas as profundidades de coleta e campanhas realizadas nos três períodos anuais, set/2017-ago/2018, set/2018-ago/2019 e set/2019-ago/2020. Em função da pandemia causada pelo COVID-19, as coletas que seriam realizadas entre os meses de março a junho de 2020 foram suspensas.

As medianas anuais de temperatura da água do mar oscilaram entre 23,4 °C e 26,0 °C ao longo de todo o período. As menores temperaturas foram registradas no ponto PC, localizado na região mais externa da baía, de maior profundidade e circulação das águas. As temperaturas mais elevadas foram registradas no ponto P3, de menor batimetria e circulação das águas, fatores que favorecem o aquecimento das águas.

A salinidade da água do mar oscilou, em medianas anuais, entre 30,9 no ponto P3 e 34,5 no P4.

O pH apresentou valores de medianas anuais entre 8,0 e 8,2, estando de acordo com os limites estabelecidos pela RC 357/05, entre 6,5 e 8,5. Algumas amostras isoladas, no entanto, apresentaram valores de pH

levemente acima deste limite, o que pode ser atribuído à fatores naturais, como florações de algas ou antrópicos, resultantes de efluentes industriais, os quais transportam bases fortes como soda cáustica e cal hidratada.

As medianas anuais do potencial de oxirredução (Eh) oscilaram entre 135 e 222 mV, indicando uma condição oxidante do ambiente.

Os sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram concentrações das medianas anuais oscilando entre 29,0 e 31,6 g.L⁻¹, valores típicos de regiões costeiras.

O oxigênio dissolvido (OD) apresentou as menores medianas anuais de concentração no ponto P4, com valores entre 4,5 e 5,1 mg.L⁻¹, inferiores ao limite mínimo de 6 mg.L⁻¹ estipulado pela RC 357/05 para classe 1 de águas salinas. A construção de dois grandes molhes na entrada do empreendimento, provavelmente, ocasionou uma redução na circulação das massas d'água nesse local resultando em um declínio nas concentrações de OD. Nos pontos PC e P5, foi verificada uma maior oscilação na distribuição sazonal da concentração de OD, sendo registradas medianas ligeiramente inferiores a 6 mg.L⁻¹ no PC (5,9 mg.L⁻¹) e no P5 (5,8 mg.L⁻¹), e valores superiores a estes nos outros períodos. Nos demais pontos amostrais as medianas anuais oscilaram entre 6,0 e 6,9 mg.L⁻¹, indicando uma boa oxigenação das águas.

As medianas anuais da concentração do carbono orgânico total (COT) foram inferiores ao limite de quantificação do método analítico em todos os pontos amostrais e, desta forma, inferiores à concentração máxima de 3 mg.L⁻¹ prevista pela RC 357/05. Entretanto, algumas amostras apresentaram concentrações acima deste limite, representando 7% das amostras analisadas. Altas concentrações de COT estão associadas à presença de matéria orgânica degradável no ambiente aquático. A entrada de matéria orgânica de origem antrópica no meio aquático aumenta significativamente a quantidade



de nutrientes disponíveis no meio, desequilibrando os processos de fotossíntese e decomposição. Além disso, elevados teores de matéria orgânica, quando não consumida na zona eufótica, tendem a ser depositados e seu acúmulo pode favorecer a formação de fundos anóxicos (RABALAIS *et al.*, 2010; NIGGEMANN *et al.*, 2007).

Dentre os parâmetros físico-químicos apresentados, os que mais influem no comportamento dos metais são os Eh, OD e COT. Quando o ambiente é redutor ou parcialmente redutor, metais como Fe e Mn, que são redox sensíveis, apresentam um comportamento geoquímico complexo podendo formar cátions de baixa solubilidade e precipitar na superfície do material particulado em suspensão ou manterem-se solúveis dependendo do Eh e dos níveis de OD. Além disso, os íons metálicos podem se associar à matéria orgânica. Entretanto, no presente estudo, em geral, não foram observadas as condições citadas acima, pois o Eh e OD indicaram ambientes mais oxidantes e não foram observados altos teores de COT.

A Baía de Sepetiba é conhecida como um dos locais, na costa brasileira, mais contaminada por metais pesados, resultante dos despejos industriais de produtos químicos, metalurgia, plástico e borracha, processamento de alimentos, atividades do porto e navegação (LACERDA *et al.*, 2001), por via fluvial, principalmente pelos Rios Guandu, Guarda e Canal do São Francisco, e também por via atmosférica.

Apesar deste histórico de contaminação, ao longo deste monitoramento, os níveis de metais na água têm se mantido baixos ou inferiores ao limite de quantificação do método analítico (LDQ) para a maioria das amostras analisadas. Segundo Maddock *et al.* (2003), a Baía de Sepetiba funciona como um “trap” (armadilha) muito eficiente, retendo grande parte dos metais presentes na água. Os metais são adsorvidos ao

material particulado em suspensão e, em seguida, são depositados no sedimento, sendo dessa forma retirados da coluna d’água rapidamente. Portanto, as baixas concentrações de metais pesados na coluna d’água são provavelmente resultantes deste processo.

O arsênio (As), o cádmio (Cd), o cobre dissolvido (Cu), o cromo (Cr), o chumbo (Pb) e o selênio (Se) apresentaram concentrações abaixo do LQM durante o período que abrange este estudo. Alguns destes metais, como o Cd e Pb, juntamente com o Zn, são indicados na literatura como os principais contaminantes da Baía de Sepetiba (LACERDA *et al.*, 1994; RODRIGUES *et al.*, 2017), tendo como principal fonte os rejeitos da Companhia Ingá. No entanto, o Cd e o Pb não foram detectados na coluna d’água no decorrer deste período.

Ferreira *et al.* (2010) registraram baixas concentrações de Cd em seus estudos, com valores entre 0,0001 a 0,0113 mg.L⁻¹ e média de 0,002 mg.L⁻¹ ± 0,003. Já para o Cr, esses mesmos autores registraram concentração média de 0,030 mg.L⁻¹ ± 0,023 (Δ = 0,01 a 0,077 mg.L⁻¹). Já Moreira (2009), registrou menores concentrações de Cr, entre níveis não detectados a 0,0014 mg.L⁻¹. Para o Cu, Ferreira *et al.* (2010) registraram concentrações de 17,9 µg.L⁻¹ ± 13,1, no entanto, para Cu total e não apenas para a fração dissolvida. Segundo Moreira (2009), a fração dissolvida é a maior contribuinte para o total deste metal e de outros elementos. Paraquetti *et al.*, (2007) encontrou valores entre 2,0 e 2,3 µg.L⁻¹ de Cu na entrada da Baía de Sepetiba.

As medianas anuais da concentração de alumínio (Al) dissolvido oscilaram entre 0,04 e 0,18 mg.L⁻¹, não sendo observado padrão de distribuição espacial ou sazonal (Figura 2, 3 e 4). Somente no período de set/17-ago/18 foi verificada diferença estatística significativa entre os pontos P1 e P3, os quais apresentaram maiores medianas anuais de



concentrações, e os demais pontos amostrais. Os valores registrados estiveram de acordo com os valores preconizados pela RC 357/05 (máximo de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$). O alumínio é um dos elementos mais abundantes encontrados na crosta terrestre, ocorrendo naturalmente no ar, na água e no solo, sendo que processos naturais ou antrópicos podem elevar sua concentração no meio ambiente (ATSDR, 2010).

O bário (Ba) foi detectado em baixas concentrações neste estudo, com medianas anuais oscilando entre valores inferiores ao LQM e $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 2, 3 e 4). As concentrações foram constantes, espacial e sazonalmente, não sendo observadas diferenças estatísticas significativas entre os pontos amostrais. O bário é relativamente abundante na natureza e é encontrado em plantas e tecidos animais, como os marinhos (ATSDR, 2007).

As medianas anuais da concentração de ferro (Fe) dissolvido oscilaram entre $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,14 \text{ mg.L}^{-1}$, em conformidade com os valores máximos estabelecidos pela RC 357/05 ($0,30 \text{ mg.L}^{-1}$), apesar de algumas amostras, em torno de 1% do total, apresentarem valores superiores a estes limites (Figura 2, 3 e 4). Diferenças estatísticas significativas foram registradas apenas no período de set/17-ago/18 entre o P4, de menores concentrações, e os pontos PC, P1 e P3, bem como entre o P3, de concentração mais elevada, e os pontos P4, P5 e PC. No entanto, o mesmo não foi observado nos demais períodos amostrais. O Fe é um dos metais mais abundantes na crosta terrestre, sendo um elemento crucial para o crescimento e a sobrevivência de quase todos os organismos vivos. É possível que a origem destas maiores concentrações de Fe seja decorrente das atividades de descarga de minérios de ferro do Porto de Itaguaí, o qual é gerenciado pela mineradora Vale.

As concentrações de manganês (Mn) foram constantes ao longo do tempo, apresentando medianas anuais inferiores ao LQM e máxima de $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$, dentro do limite da RC 357/05 ($0,10 \text{ mg.L}^{-1}$) (Figura 2, 3 e 4). Nos dois primeiros períodos, foi registrada uma diferença estatística significativa entre o ponto P3, de concentração um pouco mais elevada, e os outros pontos amostrais.

O níquel (Ni) foi detectado somente em duas amostras durante este período, e em apenas uma delas estava em desacordo ($0,09 \text{ mg.L}^{-1}$) com o limite da RC 357/05 de $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$. Suas fontes antropogênicas incluem a mineração, fundição e refinamento de metal, queima de combustíveis fósseis, produção de plástico e incineração de esgoto. A concentração de níquel no ar costuma ser maior em áreas industrializadas, resultado da elevação de sua concentração em corpos d'água próximos a estas áreas.

O urânio (U) foi detectado somente em 10 amostras entre set/17-ago/18, totalizando 1,2% das amostras analisadas no período que abrange este estudo, estando esse metal em concentrações dentro dos limites estipulados pela RC 357/05 ($0,50 \text{ mg.L}^{-1}$). Em função da atividade fim desse monitoramento, relacionado com a construção e instalação de um estaleiro e base naval de submarinos convencionais e nucleares, este metal merece uma atenção especial. Esse elemento está presente naturalmente na água do mar em baixas concentrações, na ordem de $3,4 \text{ g.g}^{-1}$ (ARMID, 2007). Sua origem natural está vinculada ao intemperismo de rochas sedimentares da crosta terrestre. No entanto, a preocupação ambiental com este elemento está vinculada à sua introdução no ambiente marinho por fontes antropogênicas, relacionadas às atividades nucleares tais como vazamentos em instalações, testes nucleares, armazenamento ou descarte impróprio de lixo radioativo, uso



de artefatos nucleares e descarte impróprio do lixo radioativo.

O zinco (Zn), apesar de ser indicado como um dos grandes contaminantes da Baía de Sepetiba (LACERDA *et al.*, 1994; RODRIGUES *et al.*, 2017), foi detectado em apenas 1,2% das

amostras analisadas neste período, em concentrações de no máximo 0,08 mg.L⁻¹, abaixo do limite da RC 357/05 (0,09 mg.L⁻¹) (Figura 3). Ferreira *et al.* (2010) encontraram concentrações de 0,292 mg.L⁻¹ ± 0,177 de Zn, valores muito superiores ao registrado neste relatório.

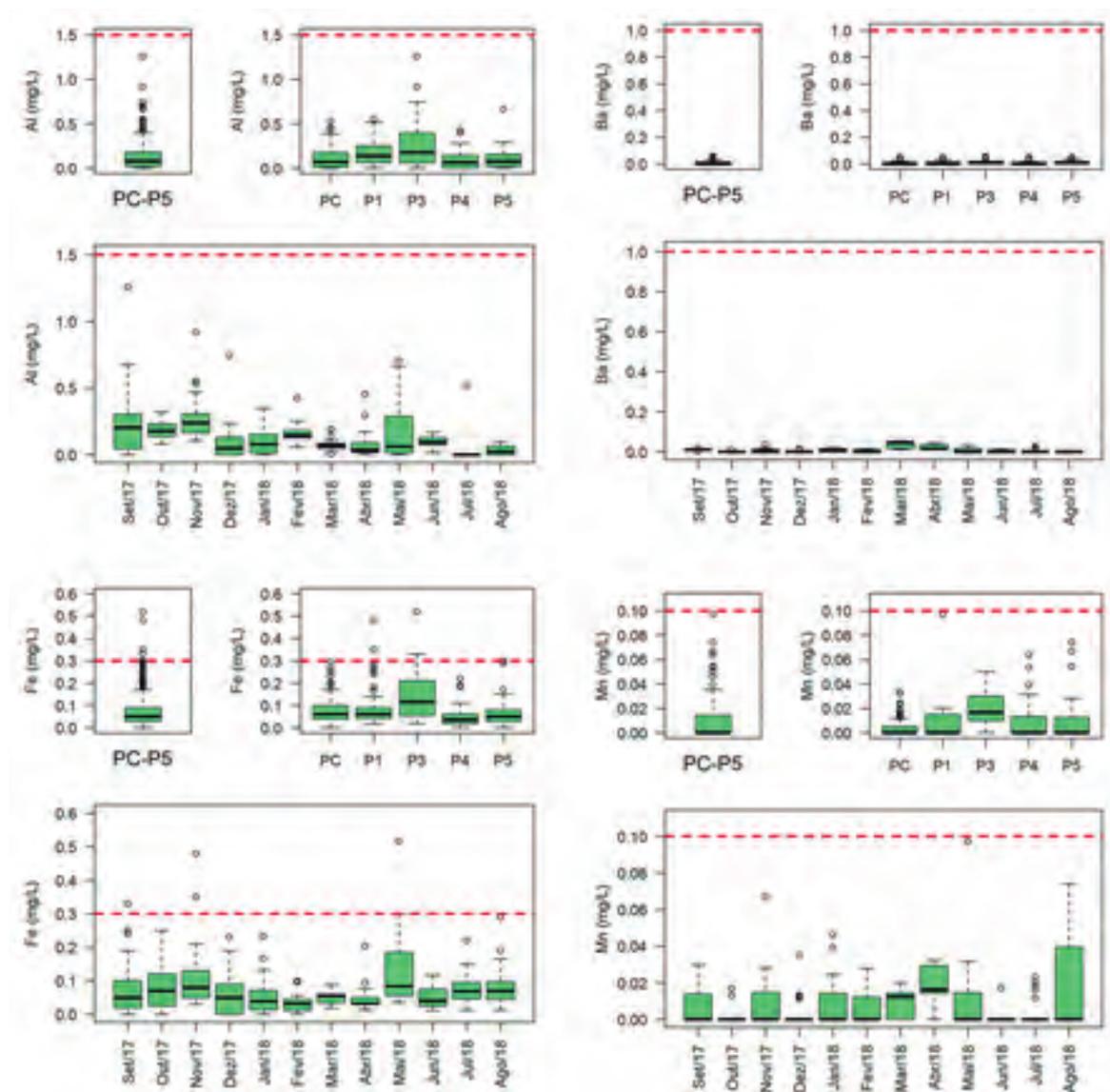


Figura 2 – Distribuição da mediana de metais pesados para todos os pontos amostrais de Set/17 a Ago/18; por ponto amostral, considerando todo o período; e medianas mensais de todos os pontos amostrais. Linha pontilhada em vermelho: limites estabelecidos pela RC 357/05.

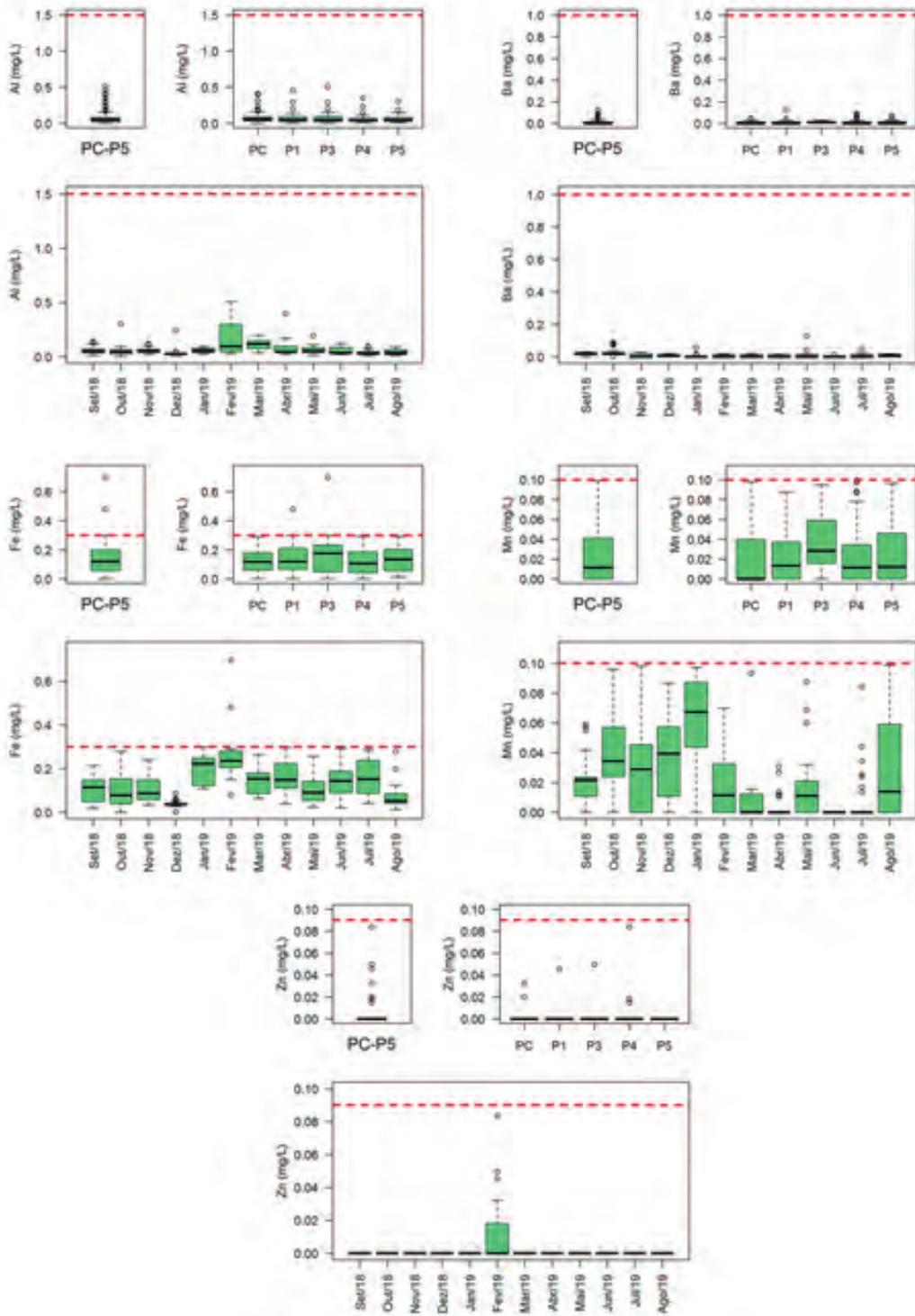


Figura 3 – Distribuição da mediana de metais pesados para todos os pontos amostrais de Set/18 a Ago/19; por ponto amostral, considerando todo o período; e medianas mensais de todos os pontos amostrais. Linha pontilhada em vermelho: limites estabelecidos pela RC 357/05.

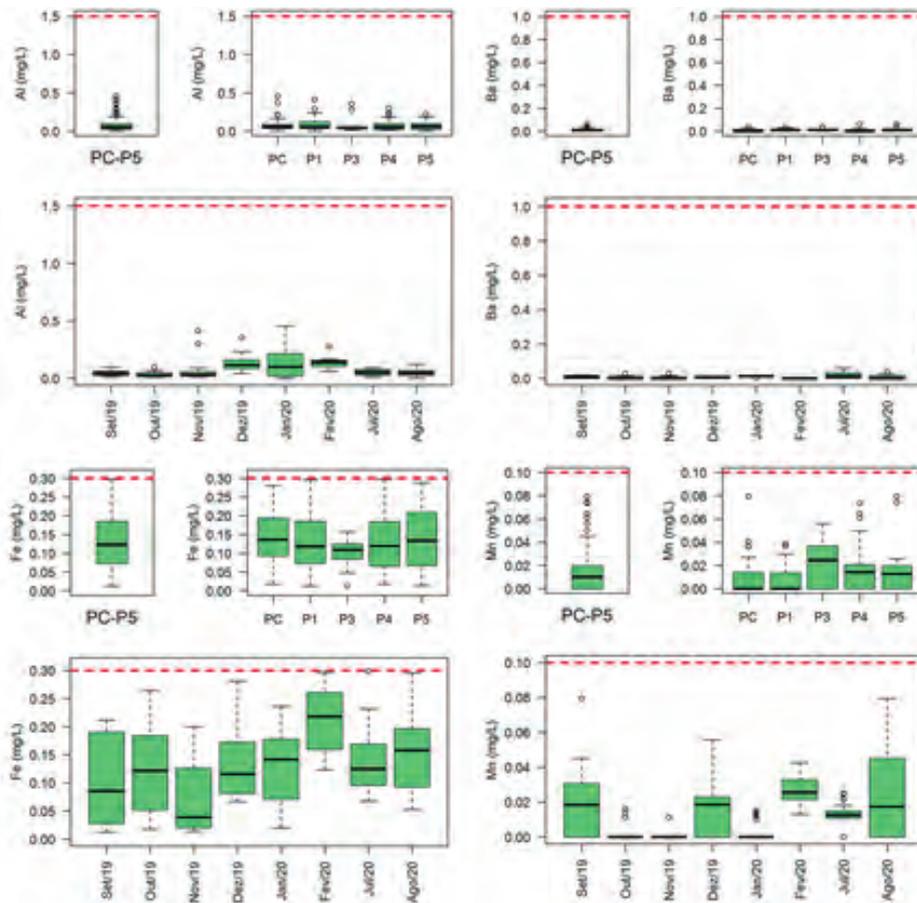


Figura 4 – Distribuição da mediana de metais pesados para todos os pontos amostrais de Set/19 a Ago/20; por ponto amostral, considerando todo o período; e medianas mensais de todos os pontos amostrais. Linha pontilhada em vermelho: limites estabelecidos pela RC 357/05.

De acordo com os resultados do IQAC, a qualidade da água nas áreas de influência do empreendimento foi considerada boa, pois apresentou valores de IQAC entre <math><95</math> e

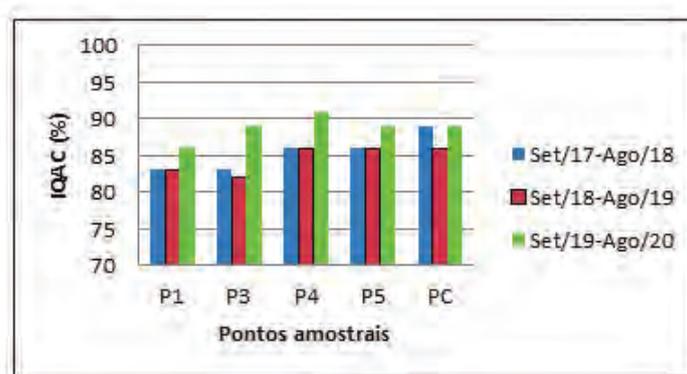


Figura 5 – Índice da Qualidade da Água Costeira para cada período e pontos amostrais.



4. CONCLUSÕES

Os metais pesados, apesar de serem contaminantes de preocupação histórica para a Baía de Sepetiba, apresentaram baixas concentrações durante o período que abrange este monitoramento (set/17-ago/20). As concentrações dos metais estudados encontram-se, em geral, abaixo dos limites estabelecidos pela RC 357/05, e são similares às concentrações previamente encontradas para essa região e para o ponto controle (PC). Somente o ferro dissolvido, o urânio e o zinco apresentaram valores acima do limite preconizado pela RC 357/05, totalizando no máximo 1,2% das amostras analisadas.

De acordo com os resultados do IQAC, a qualidade da água na região de influência do empreendimento é considerada boa. Desta forma, à luz das análises de metais, conclui-se que a instalação do empreendimento exerce baixa influência sobre o ambiente estudado. Algumas alterações por vezes observadas se devem a problemas ambientais inerentes à Baía de Sepetiba que apresenta em sua bacia de drenagem indústrias dos mais diversos segmentos, além de grandes adensamentos populacionais sem sistemas de tratamento de esgoto, que podem contribuir para a introdução de contaminantes, com graves consequências à qualidade da água deste ambiente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMID, O. Determination of uranium in pore water from coastal sediment by Standard addition ICP-MS analysis. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, v. 275 pp, 233-237, 2007.

ATSDR. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCE AND DISEASE REGISTRY. *Minimal Risk Levels for Hazardous Substances (MRLs)*, 2010. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/index.html>>. Acesso em 08/02/2021>.

BRASIL. Ministério da Defesa. 2008. *Estratégia Nacional de Defesa*. Disponível em <https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/estrategia-nacional-de-defesa>. Acesso em 12/03/2021>.

CCME. *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME WATER QUALITY INDEX 1.0*. User's Manual. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, 2001. Disponível em: <https://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines#>. Acesso em 08/02/2021.

CETESB. 2014. *Qualidade das águas salinas e salobras no Estado de São Paulo*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 08/02/2021>.

CONAMA. 2005. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). *Resolução nº 357 de março de 2005*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 08/02/2021>.



FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C.L.n. *Trace element residues in water, sediments, and organs of Savacu (Nycticorax nycticorax) from Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil.* *Ambi-Água*, v. 5, n. 1, p. 17-28, 2010.

GOMES, F.C.; GODOY, J.M.; GODOY, M.L.D.P.; CARVALHO, Z.L.; LOPES, R.T.; SANCHEZ-CABEZA, J.A.; LACERDA, L.D.; WASSERMAN, J.C. *Metal concentrations, fluxes, inventories, and chronologies in sediments from Sepetiba and Ribeira bays: a comparative study.* *Mar. Pollut. Bull.*, 59, 123-133, 2009.

LACERDA, L.D.; GRAÇA, N.M. QUINTANILHA, M.C.P. *Bibliografia sobre a contaminação por metais pesados em ambientes costeiros do Estado do Rio de Janeiro.* Série Geoquímica Ambiental, 4. Editora de Universidade Federal Fluminense, Niterói, 57p. 1994.

LACERDA, L.D. *et al.* River basin activities, impact, and management of anthropogenic trace metal and sediment fluxes to Sepetiba Bay, southeastern Brazil. In: BODUNGEN, B.; TURNER, R.K. *Science and Integrated Coastal Management.* Dahlem University Press. cap. 13, p.213-. 2001.

MADDOCK, J.E.L.; REES, J.G.; BREWARD, N. O estuário como “trap” de metais: balanço da baía de Sepetiba (RJ). In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9, 2003, Anais*, p. 467-469, Belém – PA.

MELGES-FIGUEIREDO, L. H. *Investigação das contribuições orgânicas antrópicas e naturais em sedimentos costeiros utilizando-se hidrocarbonetos marcadores. Rio de Janeiro, 1999.* 194f. (Tese de Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

MOREIRA, D.A.C. *Concentração e transformações de elementos traço nas frações particulada, coloidal e verdadeiramente dissolvida de dois estuários do Rio de Janeiro, Brasil.* 145 p. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2009.

NIGGEMANN, J.; FERDELMAN, T.G.; LOMSTEIN, B.A.; KALLMEYER, J.; SCHUBERT, C.J. How depositional conditions control input, composition, and degradation of organic matter in sediments from the Chilean coastal upwelling region. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 71, p. 1513–1527, 2007.

NUCLEP. 2020. *Nuclep 40 Anos.* Disponível em <<https://nuclep.gov.br/pt-br/content/nuclep-40-anos>>. Acesso em 12/03/2021.

PARAQUETTI, H. H. M. *et al.* *Distribuição de metais dissolvidos (Cu, Cd, Pb e Hg) nas águas da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro – Brasil.* XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - XII COLACMAR. Florianópolis, 15 a 19 de abril de 2007.

PETROBRAS. 2021. *Exploração e Produção de Petróleo e Gás.* Disponível em <<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/>>. Acesso em 12/03/2021.



PROSUB. 2021. *Programa de Desenvolvimento de Submarinos*. Disponível em <<https://www.marinha.mil.br/prosub/institucional>>. Acesso em 12/03/2021.

RABALAIS, N.N.; DIAZ, R.J.; LEVIN, L.; TURNER, R.E.; GILBERT, D. & ZHANG, J. (2010). *Dynamics and Distribution of Natural and Human-Caused Hypoxia*. *Biogeosciences*, 7: 585–619.

RODRIGUES, S.K.; ABESSA, D.M.S.; RODRIGUES, A.P.C.; SOARES-GOMES, A.; FREITAS, C.B.; SANTELLI, R.E.; FREIRE, A.S.; MACHADO, W. *Sediment quality in a metal-contaminated tropical bay assessed with a multiple lines of evidence approach*. *Environ. Pollut.*, 228, 265-276, 2017.

THE UNITED STATES OF AMERICA. USEPA. United States Environmental Protection Agency. *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods*. SW-846. Disponível em <<http://www.epa.gov>>. Acesso em 08/02/2021.

