



**GT – “10”: “Geotecnologias e análise espacial no espaço urbano”**

**Relação entre Crescimento Urbano, Conservação Florestal e Alertas de  
Acumulação de Fósforo sedimentar para Mitigação da Eutrofização  
Costeira (Nordeste da Baía de Guanabara,RJ,Brasil)**

Autor(01): Rodrigo José Moreira Carvalho Cardoso  
Filiação institucional: Universidade Federal Fluminense  
E-mail: Rocardoso@id.uff.br

Autor(02): Leonardo Vomaro Weinstein  
Filiação institucional: Universidade Federal Fluminense  
E-mail: leonardovomaro@id.uff.br

Autor(03): Kevin Campos Martins  
Filiação Institucional: Universidade Federal Fluminense  
E-mail: Kcampo@id.uff.br

**RESUMO:** O setor Nordeste da Baía de Guanabara é um local ainda preservado, apesar da Baía de Guanabara como um todo ser um ambiente hipereutrofizado. No presente estudo utilizou-se as metodologias de fósforo total (como um indicativo de nutriente), datação de sedimentos, de geoprocessamento (para calcular a mudança de uso e cobertura do solo) e dados demográficos buscando uma relação entre os fatores das esferas de biogeoquímica, uso e cobertura do solo e demográficas. Os picos recentes na acumulação de fósforo total indicam que a falta de saneamento básico na região apresenta um problema ambiental associado ao aumento da urbanização e crescimento populacional apesar de a Mata Atlântica se manter estável.

**RESUMO:**

**Palavras-chave:** Crescimento Urbano, Eutrofização, Conservação Florestal

Orientador: Humberto Marotta Ribeiro

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade humana tem causado impactos não só no presente ou visto como algo futuro, mas que já são possíveis de ser identificados no passado recente da humanidade, a cerca de 30 anos (Filho Seixas *et al.*, 2020; Vitousek *et al.*, 1997). Como efeito da atividade humana estão às mudanças globais, que podem ser definidas como as transformações antropogênicas atreladas ao crescimento populacional e ao avanço tecnológico, tal como a atividade industrial e expansão agrícola (Lucia; Fino; Grisolia, 2021; Vitousek *et al.*, 1994). A consequência das mudanças globais é o alcance cada vez mais prematuro dos “tipping points” (pontos de não retorno) nas esferas ecológicas e climáticas, resultando em perdas irreparáveis nos ecossistemas e também em escalas de forma geral como econômicas, industriais e de infraestrutura (Peduzzi, 2019). As mudanças globais criam um cenário de alterações nos ecossistemas, levando a ameaça da biodiversidade no mundo, Com o alcance dos “tipping points” essas mudanças causam problemas na produção alimentícia e por consequência na vida humana (Malhi *et al.*, 2020). No cenário local, as mudanças globais encontram-se nas baías e em seus entornos principalmente urbanos, associadas ao processo de eutrofização. Com o avanço das mudanças globais o aumento do despejo dos nutrientes nitrogênio e fósforo influencia diretamente no processo de eutrofização (Ngatia *et al.*, 2019). Nesse sentido a eutrofização é o enriquecimento excessivo das águas receptoras com nutrientes minerais, este pode acontecer por duas fontes: a natural e a antropogênica, oriunda da ocupação humana (Da Cruz, 2016).

A ocupação humana historicamente se deu em regiões com capacidade portuária e de ambientes estuarinos como em casos de baías costeiras (Monte *et al.*, 2023). Baías são sistemas costeiros semi fechados com uma parte ligada ao mar. A ocupação humana no entorno de baías ocorre por conta de sua geomorfologia sendo um local propício pois é ao mesmo tempo protegido das forças dos mares (tais como ondas e tempestades) e também tendo ligação direta com os mesmos. A escolha por ocupação de baías se dá por conta do baixo fluxo de energia das águas em comparação com mar aberto, sendo assim um tipo de local adequado para atividades como pesca, atividades extrativistas, construção portuária e até mesmo lazer. Baías formam ecossistemas com capacidade de acumular materiais provenientes da bacia de drenagem servindo como local de registro (no sedimento) das variações naturais e antropogênicas (Marotta, 2020). Com o avanço das cidades e da urbanização diversas baías

espalhadas pelo mundo têm enfrentado problemas por conta da eutrofização associados chegada de nutriente de margens próximas a locais altamente urbanizados (Li *et al.*, 2017; Ollivier; Newton; Kelsey, 2023; Yan *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021). Diversos ambientes são impactados pela ação antrópica, dentre os que mais sofrem com esses impactos estão os que junto com sua dinâmica sedimentar estão associados à circulação estuarina (Cornwell; Owens; Staver, 2022; Abuchacra, 2018).

A partir da metade do século XIX, era possível se dividir a presença de três espaços na paisagem do entorno da Baía de Guanabara (BG), a parte do litoral do Rio de Janeiro, a parte de Niterói, e o fundo da Baía de Guanabara sua parte interior, sendo o último mais preservado (De Carvalho, 1996). Apesar da BG como um todo ser alvo de crescente degradação ambiental, a partir dos anos 90 com os planos governamentais sua qualidade ambiental começou a melhorar, ainda assim em seu setor oriental sua consistência ambiental se mostrou ameaçada devido a expansão urbana (Fries *et al.*, 2019). A Baía de Guanabara por conta de sua degradação ambiental se encontra em estado de extrema eutrofização (Marotta *et al.*, 2020). O setor nordeste da BG em sua maior parte apresenta o menor nível de antropia em comparação com o resto da BG, apesar disso a parte mais a sul dentro do setor (no município de São Gonçalo) encontra-se em nível de antropia degradada (Cruz *et al.*, 1998).

O bioma local da bacia de drenagem é a mata atlântica, as florestas atlânticas por conta da ação antrópica correspondem atualmente a 11,73% de sua área original. (Ribeiro *et al.*, 2009). Dentre os tipos de cobertura vegetal presentes estão: floresta ombrófila, vegetação secundária, vegetação de várzea, e vegetação de mangue (Amador; 2013). Todas essas compõem a cobertura florestal da região. Os sedimentos de manguezais são fontes de nutrientes vindos da bacia de drenagem, servindo também como indicativos de despejo de esgoto, influenciando na qualidade ambiental atrelada à atividade urbana (Borges *et al.*, 2009; Marotta, 2020). Na bacia de drenagem da Baía de Guanabara, o elemento é fósforo um dos principais nutrientes na composição do processo de eutrofização fazendo parte dos processos metabólicos dos seres vivos e da composição do material genético. (Esteves; 1998). O aumento da concentração de fósforo é influenciado pelo aumento da temperatura originada pelas mudanças globais, com a elevação da temperatura os sedimentos liberam fósforo, o que intensifica o processo de eutrofização. (Jeppesen *et al.*, 2010; Nazari-Sharabian; Ahmad; Karakouzian, 2018).

Apesar de ser uma área com indicativos de melhora ambiental, carecem estudos que avaliem concentrações de fósforo no compartimento bentônico (testemunho sedimentar) da Baía de Guanabara e as mudanças interdecadais do uso e cobertura do solo em sua bacia de drenagem, possibilitando relacionar a geoquímica sedimentar com as efetivas alterações devido à expansão urbana.

## 2 OBJETIVO

Avaliar a relação entre: crescimento populacional, urbanização, vegetação arbórea, manguezal e o enriquecimento de nutrientes - por meio de um indicativo de nutriente Fósforo Total - no setor nordeste da região hidrográfica da Baía de Guanabara.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Delineamento do Estudo

A Baía de Guanabara está localizada no Gráben da Guanabara, formada há cerca de 60 milhões de anos junto da Serra do Mar. (Cruz *et al.*, 1998). Como resultado de sua formação, a área ao fundo da Baía de Guanabara concentra grande parte das desembocaduras dos rios da região, o que resulta em um acúmulo considerável de sedimentação terrígena na localidade (Da Fonseca, Baptista Neto, Pompermayer, 2021.) Tendo em vista esta acumulação, a análise bentônica do presente estudo dispôs da coleta de um testemunho sedimentar (BG1) na porção nordeste da Baía de Guanabara (NEBG), inserida à Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim (Figura 1).

Paralelamente, a localização de coleta do testemunho se deu na coordenada para onde convergem os principais rios das sub-bacias que compõem o nordeste da região hidrográfica, sendo estas: Suruí, Iriri, Roncado-Santo Aleixo, Guapimirim-Macacu, Caceribu e um fragmento da sub-bacia de Guaxindiba-Alcântara - uma vez que a mesma possui outros tributários de deságue da Baía de Guanabara.

A área que compreende essas sub-bacias são político-administrativamente divididas pelos municípios de: Magé, Guapimirim, Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito, Tanguá, Itaboraí e São Gonçalo. Em suma, o somatório da área total que engloba as sub-bacias do NEBG é de 2475,87 km<sup>2</sup>.

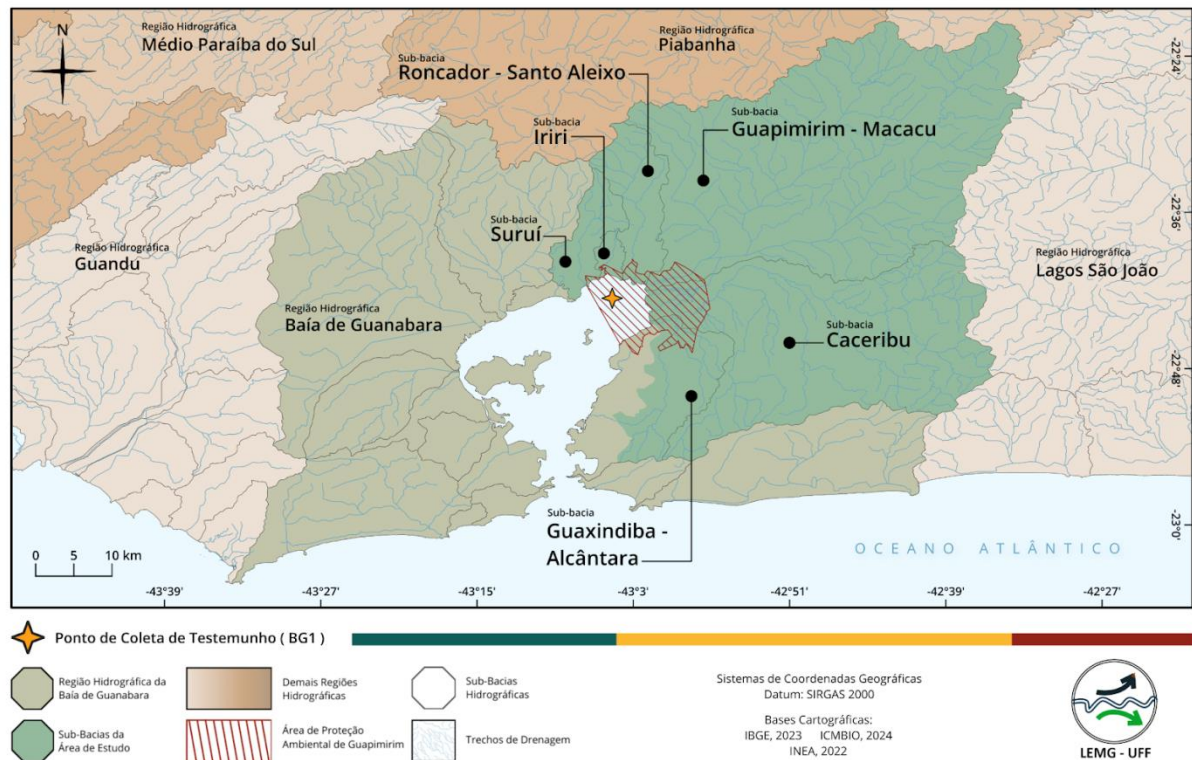


Figura 1. Localização da área de estudo, destacando as sub-bacias do nordeste da bacia hidrográfica da Baía de Guanabara e o ponto de coleta do testemunho (BG1).

Frente ao testemunho, o mesmo possui 81 cm de extensão, dividido em intervalos de 2 cm. Por sua vez, as amostras foram subdivididas em duas partes por seção, uma destinada à datação por  $^{210}\text{Pb}$  e a outra utilizada para avaliação de Fósforo Total. Neste testemunho, seus dados de datação constam a partir do ano de 1934, entretanto, o presente estudo concentrou-se apenas nos dados subsequentes ao ano de 1982 - ou seja, os 34 cm mais recentes da amostra.

### 3.2 Metodologia de análise de fósforo

As análises de fósforo total obedecem a seguinte metodologia: Um método semi-automatizado para a determinação de fosfato inorgânico, orgânico e total em sedimentos. (Aspila; Agemian; Chau, 1976). No presente estudo o método de fosfato total ou como é comumente conhecido fósforo total foi o utilizado.

### 3.3 Metodologia de datação do testemunho por $^{210}\text{Pb}$

A datação foi realizada na Southern Cross University, Austrália.

As amostras bentônicas foram datadas a partir da datação secular pelo radionuclídeo  $^{210}\text{Pb}$ . As amostras (Bonotto: Garcia-Tenorio. 2014).

O modelo utilizado para o cálculo das idades e taxa de acreção sedimentar foi o Constant Initial Concentration (CIC). O valor final foi multiplicado pelo fator de 10.000 para obter a unidade em  $\text{g m}^{-2}$

ano<sup>-1</sup>.

### 3.4 Metodologia de Avaliação de Uso e Cobertura do Solo

O percurso metodológico adotado para obtenção de dados referentes a o uso e cobertura do solo na região foi obtido através da plataforma do *MapBiomias 7.0*, em que foram extraídos dados matriciais alusivos a 7 diferentes anos, intervalado sobre o período de 5 anos cada. Os dados dizem respeito aos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015, obedecendo uma análise temporal-espacial de 30 anos.

Dessa maneira, as matrizes extraídas foram submetidas a um recorte de área, tendo em vista o grande volume de dados, onde somente foram analisadas as mudanças temporais ocorridas nas sub-bacias que compõem a área de estudo.

Em sequência, foram realizadas diferentes modificações nas legendas propostas pelo Mapbiomas 7.0, em razão de filtrar somente os dados relevantes para o projeto em questão. Outrora, inúmeras classes passaram a compor somente 5 categorias: Vegetação Arbórea, Manguezal, Campo Antropogênico, Área Urbana e Corpo D'Águas. Também foi realizada uma readequação das cores propostas pela plataforma. A adaptação das classes originais mediante as classificações propostas pelos autores é esquematizada na Figura 2.



Figura 2. Classes utilizadas pelos autores e suas correspondentes classes propostas pela plataforma do *MapBiomas*.

No âmbito dos metadados do MapBiomas Collection 7.0, a classificação de Uso e Cobertura do solo é obtida através da determinação dos atributos espectrais das bandas de imagens Landsat, com resolução espacial de 30 m. Para o processamento dos dados, o *software* utilizado foi o QGIS 28.6. Nele, a rotina de geoprocessamento se deu em quatro etapas: (I) Tratamento dos dados matriciais e recorte da área de estudo, com base em dados do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (II) Aplicação dos valores de *Gridcode* às matrizes, tal como a legenda original proposta pelo MapBiomas 7.0 (III) Readequação da legenda original para com o objetivo do presente estudo (IV) Elaboração dos mapas, *layouts*, tabelas e gráficos.

Das cinco principais categorias abarcadas pelo estudo, apenas a Área Urbana e Manguezal foram mantidas com a nomenclatura e definição original da legenda indicada pelo MapBiomas 7.0, as demais - Campo Antropogênico, Vegetação Arbórea e Corpo D'água - foram idealizadas pelo autores.

Em suma, a classificação de Vegetação Arbórea corresponde ao bioma da Mata Atlântica, categorizada pela presença predominante de florestas ombrófilas densas e mistas, vegetação secundária e vegetação de várzea, também, áreas especialmente correlatas de

topografia acidentada como os afloramentos rochosos em regiões escarpadas - comum na área de estudo, tendo em vista a presença da Serra do Mar. A classe engloba as seguintes naturezas: Formação Florestal, Formação Savânica, Campo Alagado, Restinga Arborizada, Outras Formações Não Florestais e Afloramentos Rochosos.

A classe de Campo Antropogênico diz respeito a toda área não urbanizada submetida a processos socioeconômicos antrópicos, bem como áreas desmatadas de pastagem e monocultivos. São abarcadas nesta classificação: Áreas de Pastagem, Silvicultura, Mosaico de Usos, Mineração, Café e Outras Lavouras Temporárias.

Em Manguezais, foram englobadas as categorias nas quais localizam-se em ambientes de interface costeira com a Baía, bem como: Mangue, Praias e Dunas, Apicum e Restingas Herbáceas. Em contrapartida, os corpos hídricos são classificados na classe de Corpos D'Água, englobando: Rios, Lagoas e Oceanos e ambientes de Aquicultura.

### 3.5 Metodologia de Análise do Crescimento Populacional

Na avaliação do crescimento populacional da porção Nordeste da Baía de Guanabara, foram utilizados dados provenientes dos censos demográficos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O objetivo consistiu na coleta dos valores absolutos de população para os municípios de Guapimirim, Rio Bonito, Tanguá, Itaboraí, São Gonçalo e Cachoeiras de Macacu. Os anos de referência coincidem com os anos apanhados para os Usos e Cobertura do Solo, ou seja, são os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2010 e 2015, no entanto, como não houve divulgação de dados demográficos no ano de 1990, o presente estudo considerou os valores de 1989.

Após coleta, os dados foram tabulados no Excel, de modo em que fosse possível o somatório dos valores para cada ano analisado. Por fim, após tratados, os dados foram inseridos no *software* do Strater juntamente com as variáveis de Uso e Cobertura do Solo e acumulação de Fósforo Total, produzindo o organograma de análise exposto na **figura 11**.

## 4.0 RESULTADOS

A sub-bacia que mais se destacou em relação a urbanização foram Guaxindiba-Alcântara com parte do município de São Gonçalo com processo de urbanização intenso, saindo de uma cobertura de menos da metade da sub-bacia em 1985 e finalizando com uma cobertura quase total da sub-bacia em 2015. Na sub-bacia Caceribu também ocorreu

desenvolvimento urbano substancial no município de Itaboraí e com parte do Complexo Petroquímico do Estado do Rio de Janeiro presente na sub-bacia. Em relação a Mata Atlântica a sub-bacia que se manteve com a maior presença de Área arbórea foi Guapimirim-Macacu, com espaços de preservação como a Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA), apesar desse fator a parte sudoeste da sub-bacia sofreu uma perda de Mata Atlântica notável. A sub-bacia com maior aumento de área de Manguezal foi Caceribu a partir da expansão da APA de Guapimirim. A área com maior acréscimo de campo antropogênico foi na sub-bacia Guapimirim-Macacu. Os espaços de campo antropogênico inicialmente cresceram entre 1985 e 1990 (figuras 2 e 3) porém de 1990 até 2015 (figuras 3 a 8) apresentaram queda de 118,55 km<sup>2</sup> (figura 10).

As tendências temporais indicam estabilidade na Mata Atlântica em virtude das políticas de preservação tanto públicas quanto privadas. A área urbana tende a se manter crescente, formando uma malha urbana no eixo municipal São Gonçalo-Itaboraí. Os espaços de campo antropogênico tendem a diminuição em virtude da expansão urbana e da preservação de mata atlântica.

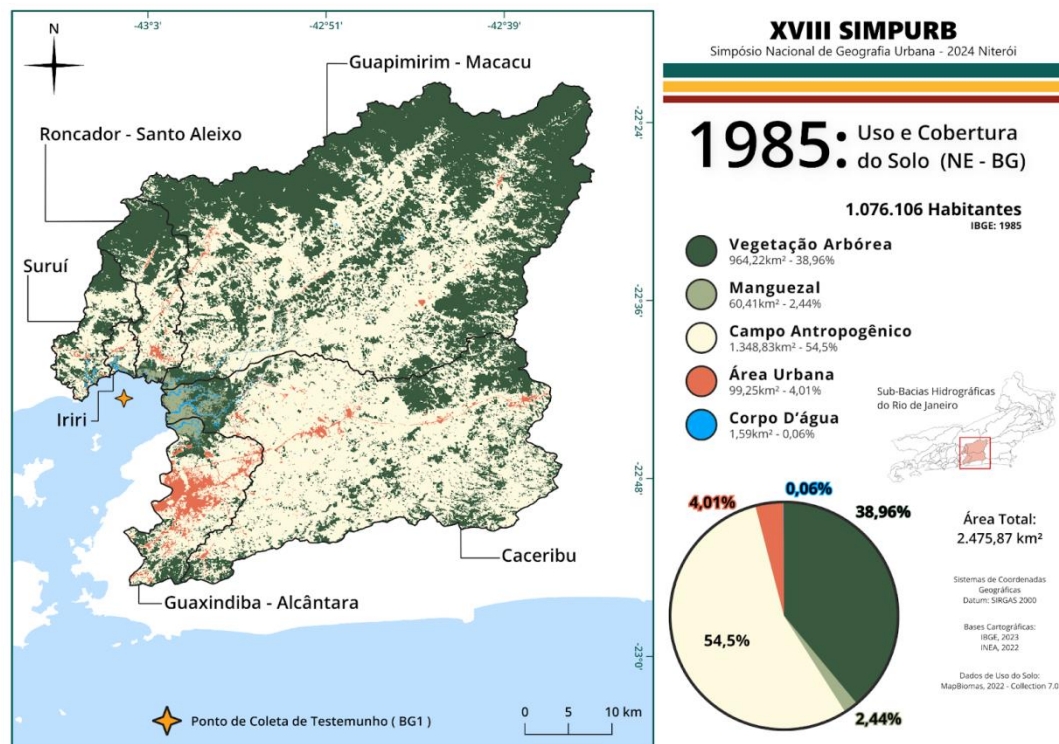


Figura 3. Mapa da área de estudo indicando Mata Atlântica, Manguezal, Campo Antropogênico, Área Urbana e Corpo D'água no ano de 1985.

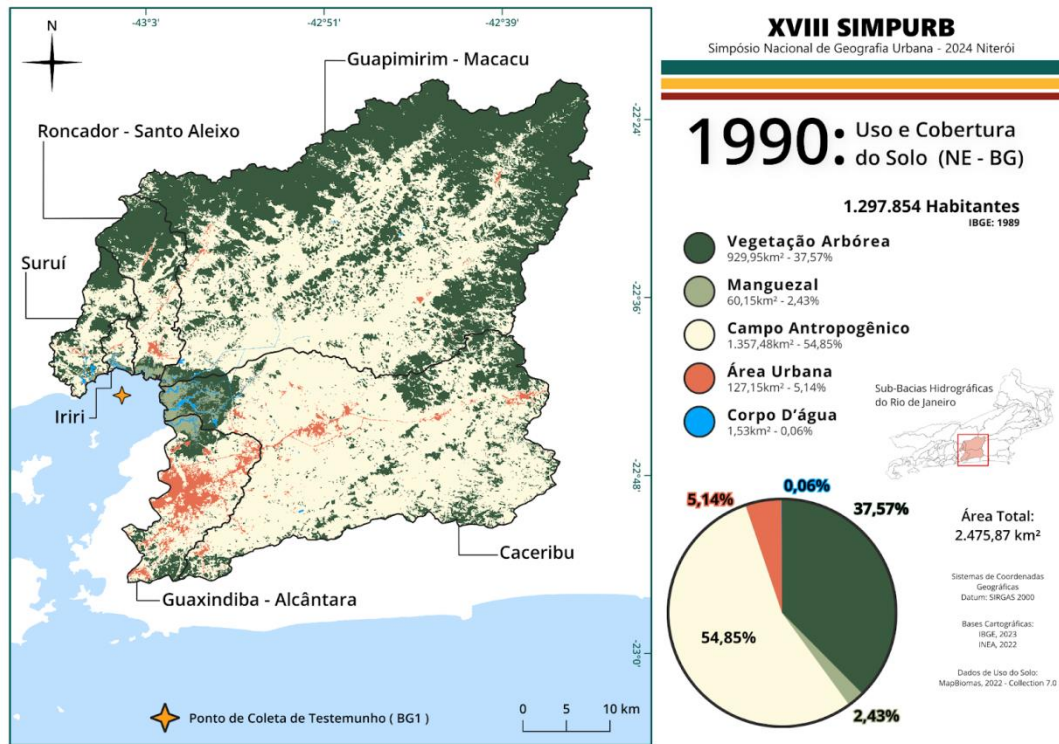


Figura 4. Mapa da área de estudo indicando Mata Atlântica, Manguezal, Campo Antropogênico, Área Urbana e Corpo D'água no ano de 1990.

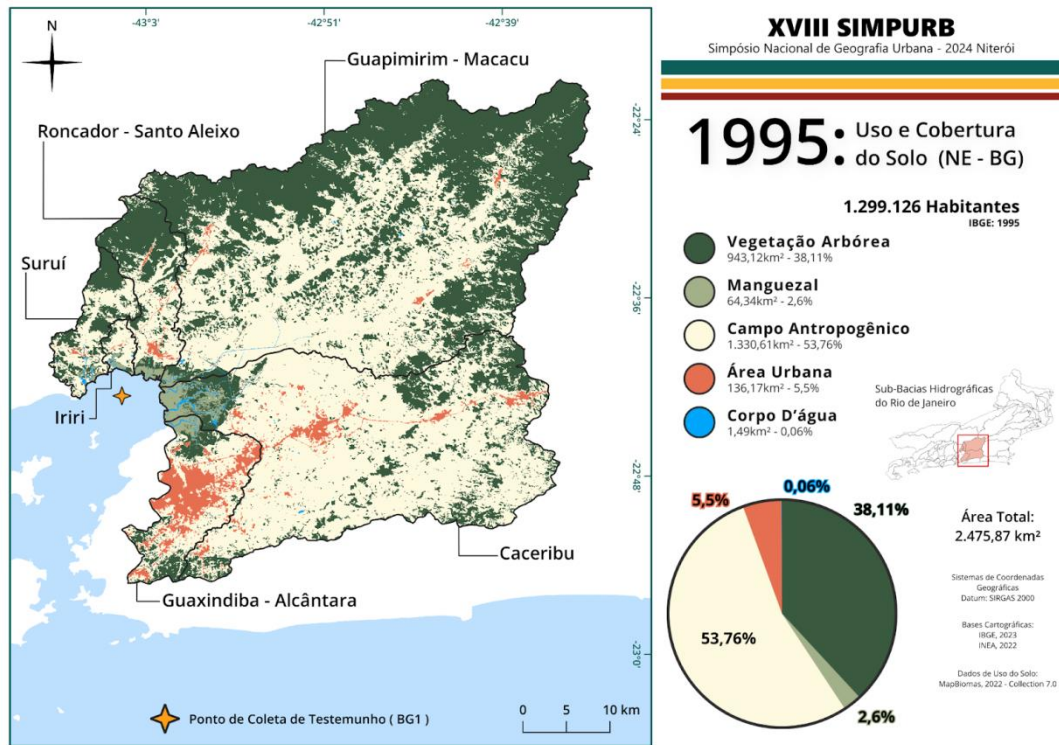


Figura 5. Mapa da área de estudo indicando Mata Atlântica, Manguezal, Campo Antropogênico, Área Urbana e Corpo D'água no ano de 1995.

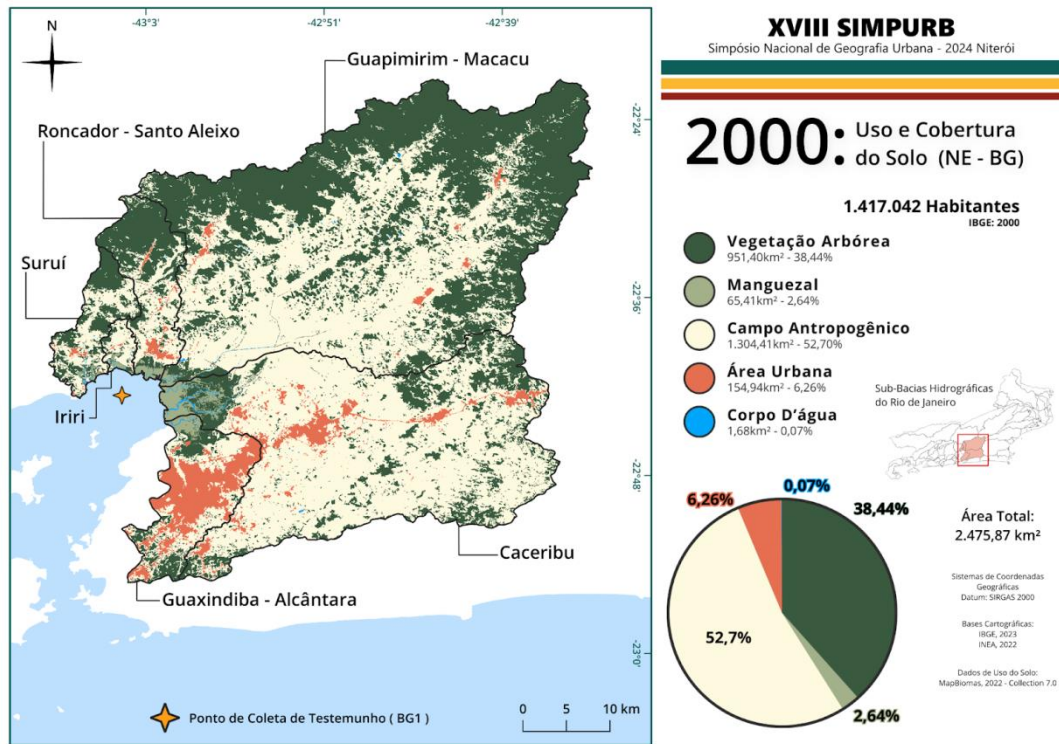


Figura 6. Mapa da área de estudo indicando Mata Atlântica, Manguezal, Campo Antropogênico, Área Urbana e Corpo D'água no ano de 2000.

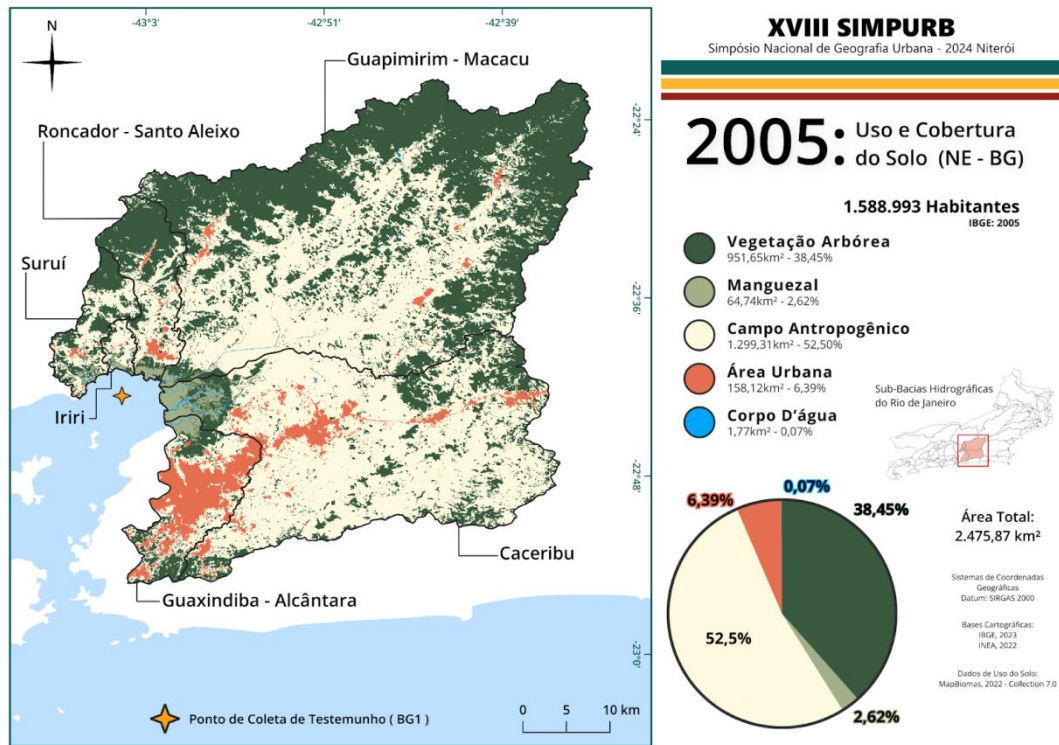


Figura 7. Mapa da área de estudo indicando Mata Atlântica, Manguezal, Campo Antropogênico, Área Urbana e Corpo D'água no ano de 2005.

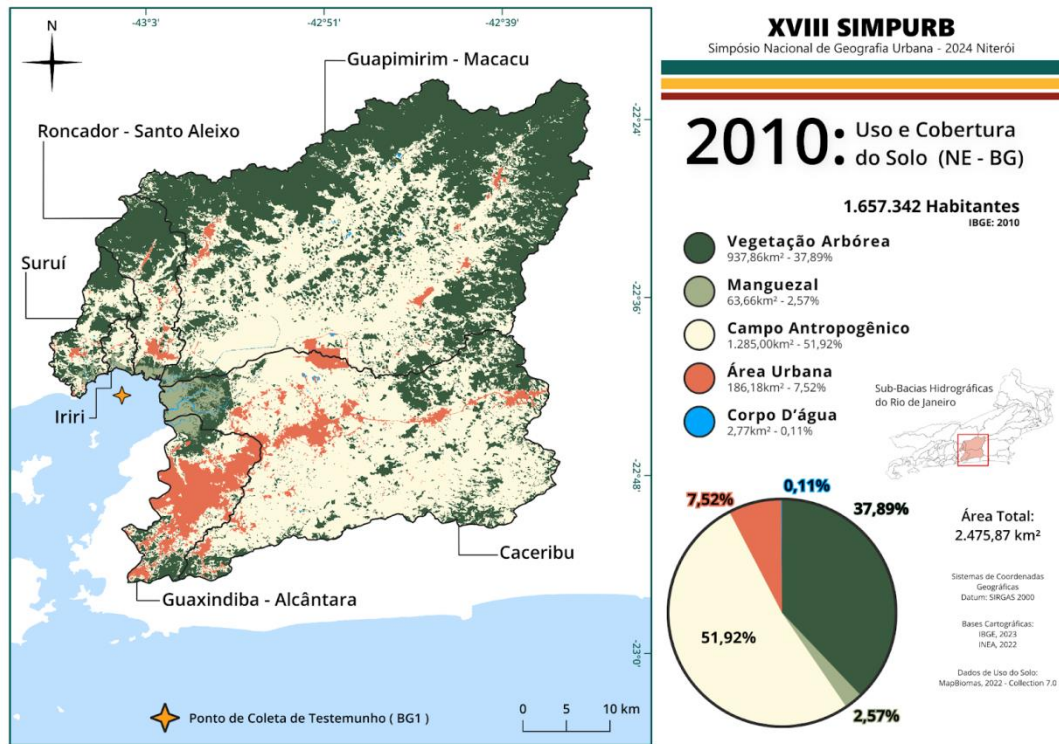


Figura 8. Mapa da área de estudo indicando Mata Atlântica, Manguezal, Campo Antropogênico, Área Urbana e Corpo D'água no ano de 2010.

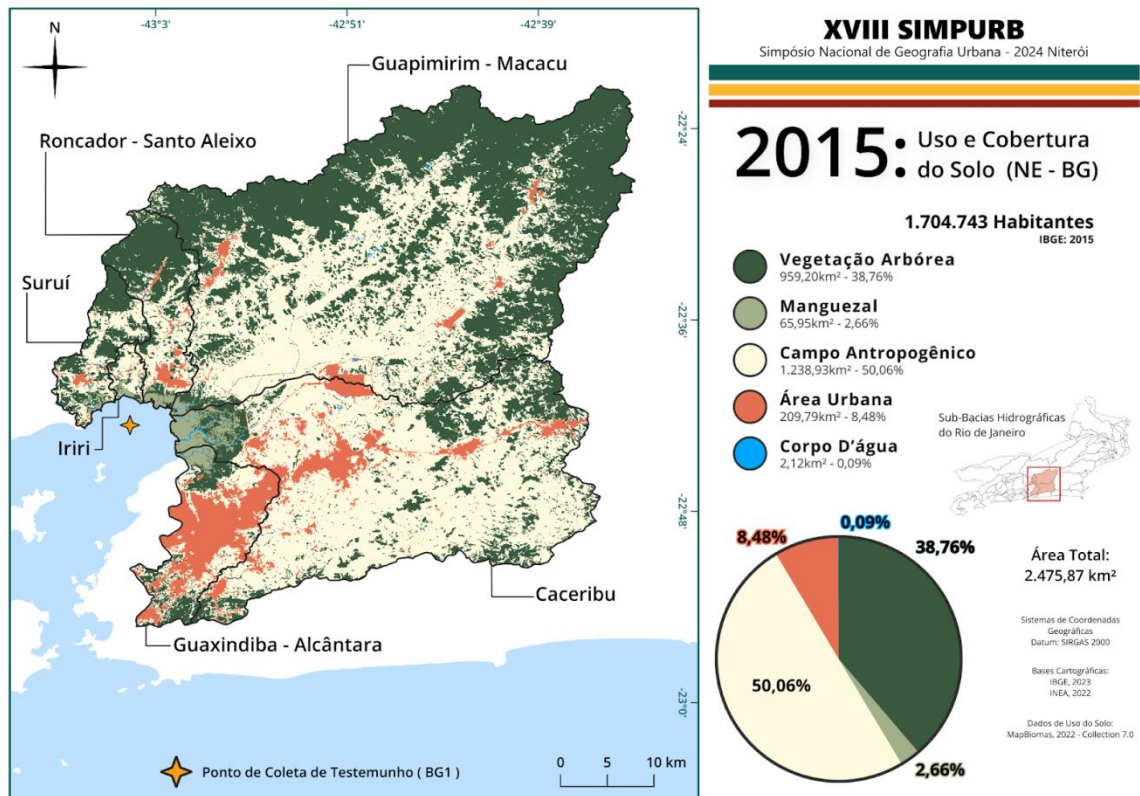


Figura 9. Mapa da área de estudo indicando Mata Atlântica, Manguezal, Campo Antropogênico, Área Urbana e Corpo D'água no ano de 2015.

O valor da Taxa de Acumulação Sedimentar (TAS), pelo modelo CIC, foi de 1,375 cm/ano. Há uma relação entre os picos de acumulação de PT, aumento da área urbana e aumento da população (figura 10). O acúmulo de PT se mantém estável (figura 10), porém atingindo picos de até 1,87 g m<sup>2</sup> ano (Figura 10). A área urbana chega a 185 km<sup>2</sup> do setor Nordeste da Baía de Guanabara em 2015, o que representa cerca de 9% da bacia de drenagem (Figura 11). O aumento total de população foi de 58,42%, com crescimento sem variabilidade (Figura 11). A queda da área de campo antropogênico é observada junto à estabilidade da mata atlântica, e área de manguezal (tabela 1). A área urbana se manteve crescente, variando de 99,25 km<sup>2</sup> em 1985 a 209,79 km<sup>2</sup> em 2015 (figura 11), aumento de 111,37%. Os espaços de campo antropogênico da região sofreram um leve aumento de 8,65 km<sup>2</sup> entre 1985 e 1990 (figura 11). Após isso, só ocorreu queda no total de área (118,55 km<sup>2</sup>) sendo a mais acentuada entre 2010 e 2015 (figura 11). A variação máxima registrada de aumento em área de Manguezal foi de 0,23% ou 5,8 km<sup>2</sup>, entre os anos de 1990 e 2015. Já a variação máxima de acréscimo de Mata Atlântica, foi também entre os anos de 1990 e 2015, de 1,19% ou 29,25 km<sup>2</sup> (Figura 10).

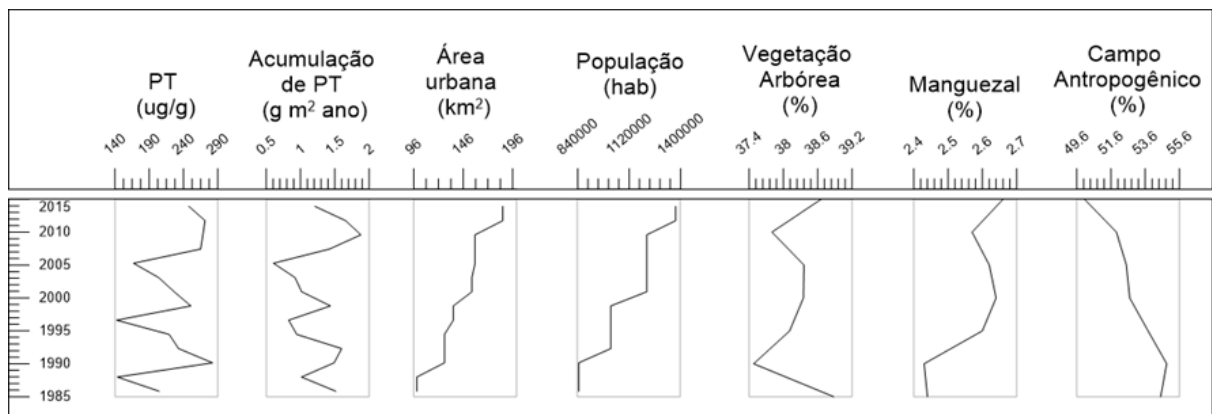


Figura 11. Organograma de PT, Acumulação de PT, de Área urbana em km<sup>2</sup>, de População e de uso e cobertura do NEBG em %.

#### 4 DISCUSSÃO

Em relação à conservação as áreas de vegetação de Mata Atlântica e Florestas de Manguezal se mantiveram estáveis (~950 km<sup>2</sup> de Mata Atlântica e ~64km<sup>2</sup> de Manguezal, Figura 10), sendo apresentado também estabilidade na acumulação de PT (figura 11). No setor leste da BG (englobando uma área maior que inclui o setor nordeste da Baía de Guanabara), a consequência do desmatamento de manguezal no “recôncavo da Baía de Guanabara” é a atual cobertura de apenas 31% (81,5 km<sup>2</sup>) da área ocupada originalmente (261,9 km<sup>2</sup>) (Barreto *et al.*, 2020). A partir da década de 1990, os índices de ocupação dos municípios nas áreas de manguezal na APA alcançaram a estabilidade (Figura 10), não sendo mais registrada a invasão urbana em áreas de manguezal que ocorreu a partir dos anos 1970, o que explica o pequeno grau de elevação na estabilidade (0,2%) de 1995 em diante (Figura 10) (Botelho; Vallejo, 2006). Os impactos das mudanças globais nos manguezais são preocupantes, apesar da estabilidade apresentada nos últimos 30 anos no setor Nordeste da Baía de Guanabara, visto que são sistemas extremamente sensíveis às ações antropogênicas (Luiz-Silva *et al.*, 2006). Os picos de acumulação de Fósforo Total (figura 11) mostram um alerta sobre possíveis problemas relacionados a frequência que aparecem podendo impactar diretamente nos manguezais devido a seu alto grau de sensibilidade. Além disso, os manguezais desempenham papel fundamental na mitigação dos efeitos das mudanças globais por serem filtros naturais, sendo necessário um olhar mais eficiente a respeito de sua preservação (Luiz-Silva *et al.*, 2006; Poeys *et al.*, 2021).

A área urbana cresceu horizontalmente à medida que a população foi se desenvolvendo, embora o desenvolvimento da rede de esgoto não tenha acompanhado o crescimento urbano com menos de 10% do esgoto da população tratado na região (Souza; De Miranda; De Medeiros, 2014). O crescimento da área urbana culminou em um aporte de fósforo através do esgoto em direção a foz dos rios, onde a presença de manguezais pode servir como filtro de parte desse aporte (Akram *et al.*, 2023; Alongi, 2020). Assim a Mata Atlântica associada a Manguezal pode estar servindo também como anteparo para evitar a expansão urbana no entorno e por consequência o assoreamento dos rios por ocupar ~38% (de Mata Atlântica) e ~2,5% (de Manguezal) da área total da região (figuras 3 ,4 ,5 ,6 ,7, 8 e 9). Entretanto, apesar de servirem como anteparo, a descarga de efluentes domésticos em direção a manguezais representa um risco para o ecossistema presente (Luiz-Silva *et al.*,

2006, Barroso *et al.*, 2022). Assim, os aumentos de picos recentes de acumulação de Fósforo Total (figura 11) indicam uma ameaça à qualidade ambiental devido à carência de investimentos em tratamento de esgoto na região.

Nesse sentido, o crescimento populacional acompanhou o crescimento da área urbana (figura 11), o que pode ser atribuído ao baixo nível de verticalização na região. A maior parte das construções observadas ao longo da paisagem tem em média de 1 a 2 andares sendo raras as com 3 ou mais andares. O crescimento percentual de área urbana (figura 11) foi de aumento de ~110% em relação a sua área inicial em 1985 o que explica esse pequeno grau de verticalização em comparação com o aumento populacional de ~60% (figura 11). De acordo com o Comitê de Bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (CBH Baía de Guanabara), a parte Leste da Baía de Guanabara ainda que sendo o local mais preservado enfrenta desafios, pois uma parcela significativa de sua população não dispõe do serviço de saneamento. Seu efeito é uma “baixa sustentabilidade da quantidade de água disponível na bacia” o que indica o despejo de esgoto diretamente nos rios da região. A Unidade Hidrológica de Planejamento correspondente a sub-bacia apresenta índice WEI+ (Índice de Exploração da Água Plus) de 115% representando valores críticos da utilização de recursos hidrológicos, que para contê-los são necessários grandes investimentos em rede de esgoto.

A acumulação de PT serve como indicador ambiental para estudar a eutrofização local associada ao despejo de efluentes domésticos (Dan; Liu; Yang, 2020; Monte *et al.*, 2023). O fósforo pode ser tanto de origem natural quanto antropogênica (Cotovicz Junior *et al.*, 2014; Esteves; 1998). Entretanto, como os valores de variação de Mata Atlântica e Manguezal são baixos (tabela 1) em comparação com os de expansão urbana (figura 10), sugere-se que os picos de acumulação de PT estão associados ao crescimento urbano e populacional associado ao despejo de efluentes domésticos in natura (figura 10) (Duarte; Miranda, 2021). Dessa forma, os resultados de acumulação de PT indicam as atividades antropogênicas ao longo do curso dos rios (Botelho; Vallejo, 2006; Duarte; Miranda, 2021). Com uma variabilidade entre 0,6 e 1,9 g.m<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup> a acumulação de Fósforo Total (figura 11) pode ser considerada baixa, comparada a outros estudos em manguezais na Baía de Guanabara.

Ainda que a variação de acumulação de PT seja menor comparada a de outros estudos (figura 11) (em áreas de Manguezal), o saneamento da população do NEBG é preocupante por conta de seus picos recentes de acumulação (figura 11). O testemunho BG1 foi coletado em

uma área sob forte influência de efluentes domésticos (Duarte; Miranda, 2021). Apesar da diferença não significativa entre a menor e maior taxa na acumulação de PT (figura 11), os picos recentes apresentados mostram a problemática que acompanha a falta de saneamento na região. Os picos de PT são nos anos de 1985, 1992, 1998 e 2009 a causa desses picos é um sinal de alerta por falta de saneamento básico na região. O nível de tratamento de esgoto dos municípios varia entre primário e secundário, sendo a população urbana atendida inferior a 10% (Souza; De Miranda; De Medeiros, 2014). Nesse sentido, o investimento em saneamento e ações de planejamento são fundamentais para que seja controlada uma possível problemática ambiental futura.

## 5 CONCLUSÃO

A interface entre as variações de fósforo total, áreas de Mata Atlântica (Vegetação Arbórea e Manguezal), bem como os crescimentos populacional e urbano, permite entender a relação entre a acumulação de nutrientes e sua bacia de drenagem. A taxa de acumulação de PT apresentou picos, indicando alertas em relação ao despejo de esgoto associado ao crescimento de área urbana de ~110% e populacional de ~60%, ocorridos simultaneamente. Entretanto, enquanto o Manguezal apresentou um crescimento de ~10%, a Vegetação Arbórea expôs uma pequena queda de ~0,5%. A conservação e o crescimento de áreas de Manguezal e de Vegetação Arbórea ocorreram em virtude de políticas públicas de aumento da área da APA de Guapimirim e da iniciativa privada, a exemplo da REGUA. Essas iniciativas promoveram uma transformação das áreas de Campo Antropogênico em áreas de preservação.

A degradação ambiental ainda é uma problemática muito forte na região, essa precarização se manifesta através da carência de rede de saneamento básico que atenda toda a população. Ainda que a conservação de Manguezais e de Mata Atlântica sejam alternativas para a redução das problemáticas relacionadas ao esgoto, servindo como “barreiras naturais” para conter o avanço da urbanização, não são a resolução do problema como um todo. É necessário aliar essa estratégia com o tratamento de esgotos, sendo esta uma necessidade urgente, já que a variabilidade de PT acentua-se cada vez mais nos anos recentes, que atingiu 1,88 g m<sup>2</sup> ano em 2009.

Os resultados do presente estudo confirmam que a porção nordeste da Baía de Guanabara ainda apresenta características conservadas. Isso se dá em associação à manutenção da Mata Atlântica, do Manguezal e das taxas médias relativamente baixas de acumulação de PT no sedimento de fundo, sobretudo em comparação com outras áreas da própria BG. No entanto, os picos recentes nessas taxas também revelam sérias ameaças, as quais necessitam ser urgentemente prevenidas pela redução das mudanças de uso e cobertura do solo (principalmente em relação ao avanço da urbanização) e mitigadas pelo tratamento de esgotos.

## REFERÊNCIAS

ABUCHACRA, P. F. F. RECONSTITUIÇÃO AMBIENTAL DA PLANÍCIE COSTEIRA DO NORDESTE DA BAÍA DE GUANABARA (RJ) A PARTIR DO HOLOCENO MÉDIO E NOVAS CONTRIBUIÇÕES AO DEBATE DO ANTROPOCENO. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2018.

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

AKRAM, H. et al. Mangrove Health: A Review of Functions, Threats, and Challenges Associated with Mangrove Management Practices. *Forests Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*, , 1 set. 2023.

ALONGI, D. M. Functional Role of Mangrove Forests Along the Subtropical and Tropical Coasts of China. *Current Chinese Science*, v. 1, n. 1, p. 73–86, 3 ago. 2020.

AMADOR, E. DA S. Baía de Guanabara: Ocupação histórica e avaliação ambiental. Rio de Janeiro: 2013.

ASPILA, K.I., AGEMIAN, H. AND CHAU, A.S.Y. (1976) A Semi-Automated Method for the Determination of Inorganic, Organic and Total Phosphate in Sediments. *Analyst*, 101, 187-197.

BARRETO, A. D. ET AL. Relações socioambientais nas áreas de manguezais na cidade de Magé no Estado do Rio de Janeiro. *Rev. Augustus. Rio de Janeiro*. v. 25, n. 50, p. 92-110, mar-jun. 2020.

BARROSO, G. C, et al. Linking eutrophication to carbono dioxide and methane emissions from exposed mangrove soils along na urban gradiente. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, v. S0048, p. 157988, 2022.

- Bonotto DM, García-Tenorio R. A comparative evaluation of the CF:CS and CRS models in <sup>210</sup>Pb chronological studies applied to hydrographic basins in Brazil. *Appl Radiat Isot.* 2014 Sep;92:58-72. doi: 10.1016/j.apradiso.2014.06.012. Epub 2014 Jun 25. PMID: 25005051.
- BOTELHO, A. L. M.; VALLEJO, L. R. Uso de áreas de proteção Ambiental: o caso do manguezal da Apa de Guapimirim. *GEOgraphia*, v. 8, n. 16, p. 99–116, 4 fev. 2006.
- BORGES, A. C. et al. Eutrophication history of Guanabara Bay (SE Brazil) recorded by phosphorus flux to sediments from a degraded mangrove area. *Marine Pollution Bulletin*, v. 58, n. 11, p. 1750–1754, 2009.
- Comitê de Bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (CBH Baía de Guanabara) / Subcomitê Leste
- CORNWELL, J. C.; OWENS, M. S.; STAVER, L. W. Nutrient Retention and Release in Eroding Chesapeake Bay Tidal Wetlands. *Journal of the American Water Resources Association*, 2022.
- COTOVICZ JUNIOR, L. C. et al. Distributions of total, inorganic and organic phosphorus in surface and recent sediments of the sub-tropical and semi-pristine Guaratuba Bay estuary, SE Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v. 72, n. 2, p. 373–386, 2014.
- CRUZ, C. B. M. et al. Carga Antrópica da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 9, p. 99-109, 1998.
- DAN, S. F.; LIU, S. M.; YANG, B. Geochemical fractionation, potential bioavailability and ecological risk of phosphorus in surface sediments of the Cross River estuary system and adjacent shelf, South East Nigeria (West Africa). *Journal of Marine S/ySTEMS*, v. 201, 1 jan. 2020.
- DA CRUZ, A A. A D. Eutrofização Antropogênica da Baía de Guanabara: 2016
- DA FONSECA, E; BAPTISTA NETO, J. A.; POMPERMAYER, F. Baía de Guanabara um ambiente em transformação. Rio de Janeiro: Ape’Ku Editora, 2021.
- DE CARVALHO, A, M. A Baía de Guanabara Os Itinerários da Memória, *Revista USP*, São Paulo, v 13, P. 156- 169, Julho/Agosto, 1996.
- DUARTE, C. M.; MIRANDA, M. G. DE. Poluição da baía de Guanabara: esgoto e sanitário e efluentes. *Ciência e Natura*, v. 43, p. e69, 30 jun. 2021.
- ESTEVES, F. DE A. Fundamentos de Limnologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- FILHO SEIXAS, J. T. et al. Análise socioambiental da poluição por esgoto da Baía de Guanabara do Rio De Janeiro. *Revista Valore*, 2020.

- FRIES, A. S. et al. Guanabara Bay ecosystem health report card: Science, management, and governance implications. *Regional Studies in Marine Science*, v. 25, 1 jan. 2019.
- IBGE Censo demográfico 1985, IBGE Censo demográfico 1989, IBGE Censo demográfico 1995, IBGE Censo demográfico 2000, IBGE Censo demográfico 2005, IBGE Censo demográfico 2010, IBGE Censo demográfico 2015
- ICMbio – Área de Proteção Ambiental de Guapimirim
- INEA. ATLAS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA V Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá. Comitê de Bacia da Baía de Guanabara, v. I, p. 229, 2021.
- JEPPESEN, E. et al. Interaction of Climate Change and Eutrophication. Em: *Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems*. [s.l.] Wiley-Blackwell, 2010. p. 119–151.
- LI, R. et al. Spatiotemporal Variability in Phosphorus Species in the Pearl River Estuary: Influence of the River Discharge. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, 1 dez. 2017.
- LUCIA, U.; FINO, D.; GRISOLIA, G. Thermoeconomic analysis of Earth system in relation to sustainability: a thermodynamic analysis of weather changes due to anthropic activities. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 145, n. 3, p. 701–707, 1 ago. 2021.
- LUIZ-SILVA, W. et al. VARIABILIDADE ESPACIAL E SAZONAL DA CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS-TRAÇO EM SEDIMENTOS DO SISTEMA ESTUARINO DE SANTOS-CUBATÃO (SP)Quim. Nova. [s.l: s.n.].
- MALHI, Y. et al. Climate change and ecosystems: Threats, opportunities and solutions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, Royal Society Publishing, , 16 mar. 2020.
- MAROTTA, H. Um ensaio sobre a biogeoquímica no cerne da ciência geográfica. Em: *Geografias Reflexões Conceituais Leituras da Ciência Geográfica Estudos Geográficos*. [s.l: s.n.]. p. 207–250.
- MAROTTA, H. et al. Continuous water biomonitoring in the Iter-guanabara bay: Strong within-day variation of metabolic gases in tropical eutrophic conditions. *Oecologia Australis*, v. 24, n. 2, p. 365–388, 2020.
- MONTE, C. DO N. et al. Assessment of eutrophication from phosphorus remobilization after resuspension of coastal sediments from an urban tropical estuary. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 24, p. 65500–65511, 1 maio 2023.

- NAZARI-SHARABIAN, M.; AHMAD, S.; KARAKOUZIAN, M. Climate Change and Eutrophication: A Short Review. *Engineering Technology and Applied Science Research*. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://digitalscholarship.unlv.edu/fac\\_articles](https://digitalscholarship.unlv.edu/fac_articles)>.
- NGATIA, L. et al. Nitrogen and Phosphorus Eutrophication in Marine Ecosystems. Em: *Monitoring of Marine Pollution*. [s.l: s.n.]. p. 1–17.
- OLLIVIER, M. E. L.; NEWTON, A.; KELSEY, H. Socio-ecological analysis of the eutrophication in Chesapeake Bay, USA. *Frontiers in Marine Science*, v. 10, 2023.
- PEDUZZI, P. The Disaster Risk, Global Change, and Sustainability Nexus. *Sustainability (Switzerland) MDPI*, 13 fev. 2019.
- POEYS, C. ET AL. A conservação dos mangues na APA de Guapimirim e da ESEC da Guanabara-ecossistema aliado contra as mudanças climáticas. [s.l], 2021  
REGUA Reserva Ecologica de Guapiaçu, Mata atlantica, Brasil
- RIBEIRO, M. C. ET al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, jun. 2009.
- RODRIGUES, G. A.; MACHADO, G. E. M. Estado de ocupação das margens do Rio Macacu – Rio de Janeiro (Brasil): diagnóstico preliminar. *Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza*, v. 4, p. 01, 11 jun. 2020.
- SOUZA, L. G. R.; DE MIRANDA, A. C.; DE MEDEIROS, H. B. O lixo, o esgoto na baía de guanabara e os programas de despoluição: A mídia versus os dados. *X Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 10, n. 2, p. 183–198, 2014.
- Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 145, n. 3, p. 701–707, 1 ago. 2021.
- VITOUSEK, P. M. et al. Human Domination of Earth’s Ecosystems. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/>>.
- VITOUSEK, P. M. et al. Beyond Global Warming: Ecology and Global Change. *Ecology*, v. 75, n. 7, p. 1861–1876, out. 1994.
- YAN, Q. ET AL. Internal nutrient loading is a potential source of eutrophication in Shenzhen Bay, China. *Ecological Indicators*, v. 127, 1 ago. 2021.
- ZHANG, J. ET AL. Seasonal phosphorus variation in coastal water affected by the land-based sources input in the eutrophic Zhanjiang Bay, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 252, 5 maio 2021.