



**Fundação de Apoio à Educação, Pesquisa e Desenvolvimento
Científico e Tecnológico da UTFPR**

FUNDO BRASILEIRO PARA A BIODIVERSIDADE

Chamada de Projetos 02/2026

**AVALIAÇÃO INTEGRADA DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM
ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS: INDICADORES ECOLÓGICOS PARA
DIAGNÓSTICO DA INTEGRIDADE AMBIENTAL E APOIO À GESTÃO
COSTEIRA DO PARANÁ**

PROPONENTE: Fundação de Apoio à Educação, Pesquisa e Desenvolvimento
Científico e Tecnológico da UTFPR

INSTITUIÇÕES PARCEIRAS: Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Universidade Federal do Paraná, Universidade Estadual de Maringá, Universidade
Estadual do Paraná

VIGÊNCIA: 36 meses

1. VISÃO GERAL DO PROJETO

1.1 TÍTULO

Avaliação integrada de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos: indicadores ecológicos para diagnóstico da integridade ambiental e apoio à gestão costeira do Paraná

1.2 RESUMO E PALAVRAS-CHAVE

Ambientes aquáticos costeiros desempenham papel fundamental no bem-estar humano, pois fornecem água para abastecimento e navegação, sustentam a pesca, promovem a ciclagem de nutrientes e contribuem para a manutenção da qualidade ambiental. Contudo, têm sido cada vez mais impactados pela poluição da água e por pressões decorrentes das atividades humanas nas bacias hidrográficas, com consequências adversas à biodiversidade e ao funcionamento ecológico. Apesar disso, abordagens tradicionais de avaliação de impactos e monitoramento ainda se concentram em parâmetros físicos e químicos isolados, sem incorporar de forma integrada as respostas estruturais e funcionais da biota. Nesse contexto, este projeto tem como objetivo desenvolver e validar indicadores ecológicos integrados capazes de diagnosticar a integridade ambiental de ecossistemas aquáticos costeiros do estado do Paraná, considerando a ocorrência de contaminantes, seus efeitos ecotoxicológicos e as respostas da biodiversidade aquática ao longo da cadeia trófica. A vulnerabilidade das regiões costeiras é amplificada por fatores socioeconômicos, como a ocupação de áreas de risco e a carência de saneamento básico. Portanto, avaliar os impactos em zonas costeiras requer uma abordagem integrada que conecte dimensões sociais, econômicas e ambientais, articulando planejamento territorial, licenciamento e instrumentos de gestão do risco. Nesse contexto, este projeto tem como objetivo desenvolver e validar indicadores ecológicos integrados capazes de diagnosticar a integridade ambiental de ecossistemas aquáticos costeiros do estado do Paraná, considerando a ocorrência de contaminantes, seus efeitos ecotoxicológicos e as respostas da biodiversidade aquática ao longo da cadeia trófica. Além disso, este projeto propõe o desenvolvimento e a validação de indicadores ecológicos aplicáveis ao licenciamento ambiental e à classificação da condição ecológica de rios costeiros da bacia litorânea do Paraná, incluindo sistemas estratégicos como os rios Guaraguaçu, Itiberê e Nhundiaquara. A proposta integra avaliação de impactos associados à poluição da água, respostas da biodiversidade e

alterações na provisão de serviços ecossistêmicos, com foco na geração de ferramentas utilizáveis por órgãos ambientais no apoio à tomada de decisão. Serão investigadas pressões ambientais associadas às atividades humanas nas bacias hidrográficas, incluindo o levantamento sistemático de licenças ambientais e outorgas relacionadas à captação de água e à diluição de efluentes nos rios estudados. Paralelamente, serão determinados contaminantes na água e no sedimento, com ênfase em substâncias comumente associadas ao lançamento de efluentes, como matéria orgânica, nutrientes e fármacos, bem como outros poluentes convencionais e emergentes, avaliando sua distribuição espacial e potencial influência sobre a biodiversidade aquática. A biodiversidade será caracterizada por meio da avaliação de biofilmes perifíticos, fitoplâncton, zooplâncton, invertebrados aquáticos (incluindo organismos bentônicos, organismos associados às macrófitas e ostrácodes perifíticos), macrófitas aquáticas e peixes, considerando atributos taxonômicos e funcionais ao longo da cadeia trófica. Será avaliada a ocorrência de contaminantes na base da cadeia trófica (biofilmes), bem como seu potencial de transferência e bioacumulação em outros níveis tróficos. Ensaio ecotoxicológico e aplicação de uma avaliação de risco complementarão essa análise, permitindo analisar efeitos biológicos associados à exposição a contaminantes. Os serviços ecossistêmicos serão estimados por meio de métricas ecológicas mensuráveis associadas ao suporte à cadeia trófica, à ciclagem de nutrientes, à regulação da qualidade da água e ao abastecimento hídrico, bem como ao potencial ecológico de sustentar a pesca. Com base na integração de dados, serão desenvolvidos e validados indicadores ecológicos integrados, culminando na construção de um índice multimétrico para diagnóstico da integridade ecológica de ecossistemas aquáticos costeiros. O índice permitirá classificar os sistemas avaliados em diferentes classes de condição ecológica, fornecendo uma ferramenta objetiva para monitoramento ambiental e apoio à gestão e aplicação no licenciamento ambiental no estado do Paraná.

Palavras-chave: Avaliação de impacto ambiental; Indicadores ecológicos integrados; Poluição da água; Biodiversidade aquática; Bioacumulação; Índice multimétrico; Gestão de recursos hídricos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver e validar indicadores ecológicos integrados, baseados em métricas estruturais e funcionais da biodiversidade aquática e na ocorrência de contaminantes e seus efeitos ecotoxicológicos, capazes de diagnosticar e classificar a condição ecológica de ecossistemas aquáticos costeiros do Paraná em resposta a pressões antrópicas e atividades poluidoras, subsidiando a avaliação de impactos ambientais, o monitoramento e a tomada de decisão na gestão e no licenciamento ambiental.

1.3.2 Objetivos específicos

1.3.2.1 Caracterização de pressões, estressores e contexto regulatório

- a) Identificar e quantificar contaminantes convencionais e emergentes na água e no sedimento em ecossistemas aquáticos costeiros no Paraná.
- b) Caracterizar o uso e ocupação do solo nas sub-bacias estudadas, identificando a distribuição espacial e intensidade de pressões antrópicas.
- c) Realizar o levantamento de licenças ambientais de empreendimentos de portes médio, grande e excepcional ocorrentes nas sub-bacias estudadas e outorgas relacionadas à captação de água e à diluição de efluentes, integrando essas informações com vistas à identificação de fontes potenciais de poluição.
- e) Modelar a dispersão espacial de contaminantes e relacionar a potencial influência a sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.

1.3.2.2 Biodiversidade e estrutura ecológica

- a) Caracterizar as assembleias biológicas aquáticas (biofilmes perifíticos, fitoplâncton, zooplâncton, invertebrados bentônicos e associados a macrófitas, ostrácodes, macrófitas aquáticas e peixes) por meio de métricas taxonômicas, funcionais e estruturais, com ênfase em atributos sensíveis a perturbações ambientais e aplicáveis como indicadores ecológicos para avaliação de impactos.
- b) Avaliar padrões de diversidade, composição, estrutura funcional ao longo de gradientes de contaminação e pressão antrópica, identificando condições de referência e níveis de degradação ecológica.

1.3.2.3 Efeitos biológicos e serviços ecossistêmicos

- a) Avaliar a bioacumulação e o potencial de transferência trófica de contaminantes na cadeia alimentar aquática, utilizando biofilmes perifíticos e organismos sentinela como indicadores de retenção, propagação e exposição a poluentes.
- b) Avaliar efeitos ecotoxicológicos associados à contaminação ambiental empregando ensaios padronizados com organismos-teste.
- c) Relacionar evidências ecotoxicológicas e bioacumulação às alterações estruturais e funcionais da biodiversidade.
- d) Realizar avaliação de risco ecológico associada à exposição a contaminantes.
- e) Relacionar alterações na condição ecológica e na estrutura funcional da biodiversidade à capacidade de provisão de serviços ecossistêmicos aquáticos.

1.3.2.4 Integração dos dados, desenvolvimento de indicadores e avaliação de impactos

- a) Integrar dados físicos, químicos, hidrológicos e biológicos para quantificar a magnitude e extensão de impactos ambientais.
- b) Desenvolver e validar indicadores ecológicos integrados para diagnóstico de impactos associados à poluição da água.
- c) Construir e testar um índice multimétrico para avaliação ecológica de ecossistemas aquáticos costeiros no Paraná;
- d) Definir classes de condição ecológica (referência, intermediária e degradada) com base nos indicadores desenvolvidos.
- e) Propor e disponibilizar um protocolo técnico operacional para aplicação dos indicadores ecológicos integrados e do índice multimétrico, incluindo critérios objetivos de interpretação, enquadramento em classes de condição ecológica e diretrizes para subsidiar pareceres técnicos em processos de licenciamento e monitoramento ambiental.
- f) Identificar áreas críticas para a integridade ecológica dos rios estudados.

1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROPOSTA

Os ecossistemas aquáticos costeiros estão entre os sistemas mais produtivos e ecologicamente relevantes do planeta (Barbier et al., 2011), desempenhando papel fundamental na provisão de serviços ecossistêmicos essenciais (MEA, 2005), como abastecimento de água (Ferguson & Gleeson), suporte à pesca (Dugan et al., 2002; Gillson, 2011, Lefcheck et al., 2019), ciclagem de nutrientes (Nixon, 1995; Richardson

et al., 2025) e regulação da qualidade ambiental (Howard et al., 2017). Em regiões tropicais e subtropicais, esses sistemas apresentam elevada biodiversidade (Hillebrand, 2004) e grande importância socioeconômica, sendo amplamente utilizados para abastecimento público, recreação, navegação e diluição de efluentes (Small & Nicholls, 2003; Wang et al., 2023).

Nas últimas décadas, a intensificação das atividades humanas nas bacias hidrográficas costeiras tem ampliado as pressões sobre esses sistemas, especialmente por meio da contaminação da água (Vörösmarty et al., 2010; Micella et al., 2024). O aporte de contaminantes associados à urbanização, às atividades industriais e agrícolas e às deficiências de saneamento modifica as características físicas e químicas da água e do sedimento, com reflexos diretos sobre a estrutura e o funcionamento das comunidades aquáticas (Häder et al., 2020; Iyiola et al., 2022). A exposição contínua a esses contaminantes pode resultar em efeitos ecotoxicológicos (Roveri et al., 2020), bioacumulação (Rakib et al., 2022) e mudanças na composição taxonômica e funcional das assembleias, afetando processos ecológicos fundamentais (Borja et al., 2000; Costa et al., 2022; Souza et al., 2025).

Esses efeitos tendem a se manifestar inicialmente na base da cadeia trófica, onde os organismos estão diretamente expostos às alterações na água e no sedimento (Carpenter et al., 1998; Diaz & Rosenberg, 2008). Biofilmes perifíticos, fitoplâncton e plantas aquáticas, por exemplo, por ocuparem esse nível e desempenharem papel central na dinâmica de nutrientes e no fluxo de energia, respondem rapidamente à contaminação (Carles et al., 2021). Além disso, podem atuar como reservatórios e vias de transferência de poluentes ao longo da cadeia alimentar, contribuindo para a bioacumulação em níveis tróficos superiores (Wen et al., 2024). Com o tempo, esses contaminantes podem alcançar organismos de maior porte, como invertebrados, peixes e outros vertebrados aquáticos, alterando a estrutura das teias alimentares e a dinâmica ecológica do sistema (Emon et al., 2023; Wang et al., 2026). Isso tem implicações que extrapolam a dimensão ecológica, podendo afetar a pesca, o abastecimento de água e outras atividades que dependem diretamente da qualidade ambiental (Halpern et al., 2015). Assim, alterações que se iniciam nos níveis mais basais da cadeia podem repercutir em todo o ecossistema e alcançar dimensões socioeconômicas relevantes.

Alterações que atingem diferentes níveis tróficos e processos ecológicos demandam abordagens capazes de sintetizar a condição do ecossistema como um todo (Carpenter et al., 2009; Carvalho et al., 2025). Nesse sentido, o conceito de integridade

ecológica, proposto por James R. Karr e Ellen W. Dudley (Karr & Dudley, 1981), oferece um referencial para avaliar se os sistemas mantêm comunidades estruturadas e funcionalmente organizadas em relação a condições de referência. Essa perspectiva reforça que a condição ecológica envolve não apenas a diversidade de espécies, mas também os processos que sustentam o funcionamento do ecossistema.

A avaliação da integridade ecológica tem sido amplamente realizada por meio de índices multimétricos, derivados do Índice de Integridade Biótica (IBI), originalmente desenvolvido por James R. Karr (Karr, 1981). Esses índices combinam múltiplas métricas estruturais e funcionais das comunidades biológicas em um único valor sintético, permitindo classificar os ecossistemas em diferentes classes de condição ecológica. Internacionalmente, essa abordagem tem sido incorporada por agências ambientais em diferentes contextos regulatórios, incluindo os Estados Unidos, o Canadá e países da Oceania, além de fundamentar instrumentos como a Diretiva-Quadro da Água, que integra pressões antrópicas e respostas biológicas na avaliação do estado ecológico de corpos d'água (Ruaro et al., 2020; Ruaro et al., 2024).

No Brasil, a gestão dos recursos hídricos é orientada pela Lei nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabelece, entre seus instrumentos, o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso e o monitoramento da qualidade da água (Brasil, 1997). Em consonância com essa política, a Resolução CONAMA nº 357/2005 define padrões físicos, químicos e microbiológicos para a classificação dos corpos hídricos, os quais subsidiam tanto o monitoramento quanto os processos de licenciamento ambiental e a concessão de outorgas para captação e diluição de efluentes (Brasil, 2005). Complementarmente, a Resolução CONAMA nº 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, estabelecendo critérios para controle de emissões e proteção do corpo receptor, sendo instrumento central para o licenciamento ambiental e monitoramento de condicionantes de licenças, bem como para a concessão de outorgas relacionadas à captação e diluição de efluentes (Brasil, 2011).

Nos processos de avaliação de impacto ambiental associados a empreendimentos potencialmente poluidores, a análise da capacidade de assimilação dos corpos d'água e da diluição de efluentes é, em geral, fundamentada no atendimento a concentrações limites de parâmetros físicos e químicos específicos (Cunha et al., 2013). Embora esses critérios sejam fundamentais do ponto de vista regulatório, essa abordagem nem sempre reflete, de forma integrada, as respostas biológicas e funcionais dos ecossistemas ou os efeitos cumulativos das pressões antrópicas (Schindler, 1987; Allan, 2004; Carvalho et

al., 2025). Dessa forma, pode haver conformidade legal sem que a condição ecológica esteja plenamente preservada.

Essa limitação torna-se particularmente relevante em bacias costeiras sujeitas a múltiplas pressões antrópicas, como expansão urbana, atividades agrícolas e operações portuárias (Halpern et al., 2015). No litoral do Paraná, onde se inserem rios de elevada relevância ecológica como Guaraguaçu, Itiberê e Nhundiaquara, coexistem diferentes empreendimentos licenciados e em operação, incluindo estações de tratamento de efluentes, atividades portuárias e de dragagem, captações de água superficiais e empreendimentos industriais, os quais representam fontes potenciais de aporte contínuo ou intermitente de contaminantes aos corpos hídricos (Reis et al., 2015; Elste et al., 2021).

Embora estudos pontuais tenham identificado contaminação por nutrientes, metais e outros poluentes na região (Silva et al., 2010; Belanha-Silva et al., no prelo), ainda são incipientes as abordagens capazes de integrar, em um mesmo arcabouço analítico, as informações provenientes do licenciamento ambiental e das outorgas vigentes, a caracterização das pressões associadas a esses empreendimentos, a ocorrência e dispersão de contaminantes, a avaliação ecotoxicológica, a análise de bioacumulação na biota aquática e as respostas estruturais e funcionais da biodiversidade. Essa lacuna limita a compreensão dos efeitos cumulativos da poluição sobre o funcionamento ecológico dos sistemas e dificulta a incorporação dessas informações nos processos de avaliação de impacto e de licenciamento ambiental. Diante desse cenário, torna-se necessário desenvolver ferramentas integradas capazes de relacionar, de forma sistemática, as pressões associadas à poluição da água, as respostas da biodiversidade aquática, os efeitos biológicos e as possíveis alterações na provisão de serviços ecossistêmicos, incorporando também o contexto regulatório das bacias estudadas.

Nesse contexto, a construção e validação de indicadores ecológicos integrados, culminando em um índice multimétrico de integridade, permitirá classificar os ecossistemas em diferentes classes de condição ecológica e fornecer base científica para monitoramento ambiental, avaliação de impactos e apoio à gestão e ao licenciamento de empreendimentos em bacias costeiras do estado do Paraná. A estrutura conceitual do projeto apoia-se na lógica DPSIR (*Driving forces–Pressures–State–Impact–Response*), amplamente utilizada em avaliações ambientais integradas e incorporada em instrumentos como a Diretiva-Quadro da Água europeia (Borja et al., 2006). Essa abordagem organiza a análise a partir das relações causais entre pressões antrópicas,

estado ecológico, impactos e respostas de gestão, permitindo integrar múltiplas dimensões do diagnóstico ambiental.

O projeto inova ao integrar, em um mesmo arcabouço analítico, dados regulatórios, hidrológicos, físicos, químicos, ecotoxicológicos e ecológicos na avaliação das condições ambientais impactos da poluição nos sistemas aquáticos costeiros, fornecendo informações robustas do monitoramento ambiental que podem ser aplicados a gestão, bem como para compreensão de possível sinergia de impactos.

A complexidade da abordagem proposta exige integração entre diferentes áreas do conhecimento. O projeto será desenvolvido por uma equipe multidisciplinar com experiência consolidada em ecologia aquática, ecotoxicologia, química ambiental, modelagem de sistemas e gestão de recursos hídricos, incluindo atuação prévia em projetos aplicados na região de estudo e em interface com órgãos ambientais. Essa composição assegura a capacidade técnica e institucional para execução integrada das atividades e para a geração de produtos técnicos voltados ao apoio à gestão e à tomada de decisão.

1.5 METODOLOGIA

1.5.1 Área de estudo

A área de estudo compreende os rios Guaraguaçu, Itiberê e Nhundiaquara, que são três rios importantes inseridos na bacia Litorânea da Região Hidrográfica Atlântico Sul (Figura 1). Esses sistemas estão localizados no setor leste do estado do Paraná, em área de forte influência estuarina e elevada relevância ecológica no contexto da Mata Atlântica. A região apresenta clima subtropical úmido, com pluviosidade média anual superior a 2.000 mm, o que favorece uma intensa lixiviação e transporte de materiais terrígenos para os corpos hídricos. A vegetação marginal é composta majoritariamente por Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e formações pioneiras de influência fluviomarina, como manguezais e caxetais, que atuam como importantes sumidouros de metais e matéria orgânica (Roderjan et al., 2002).

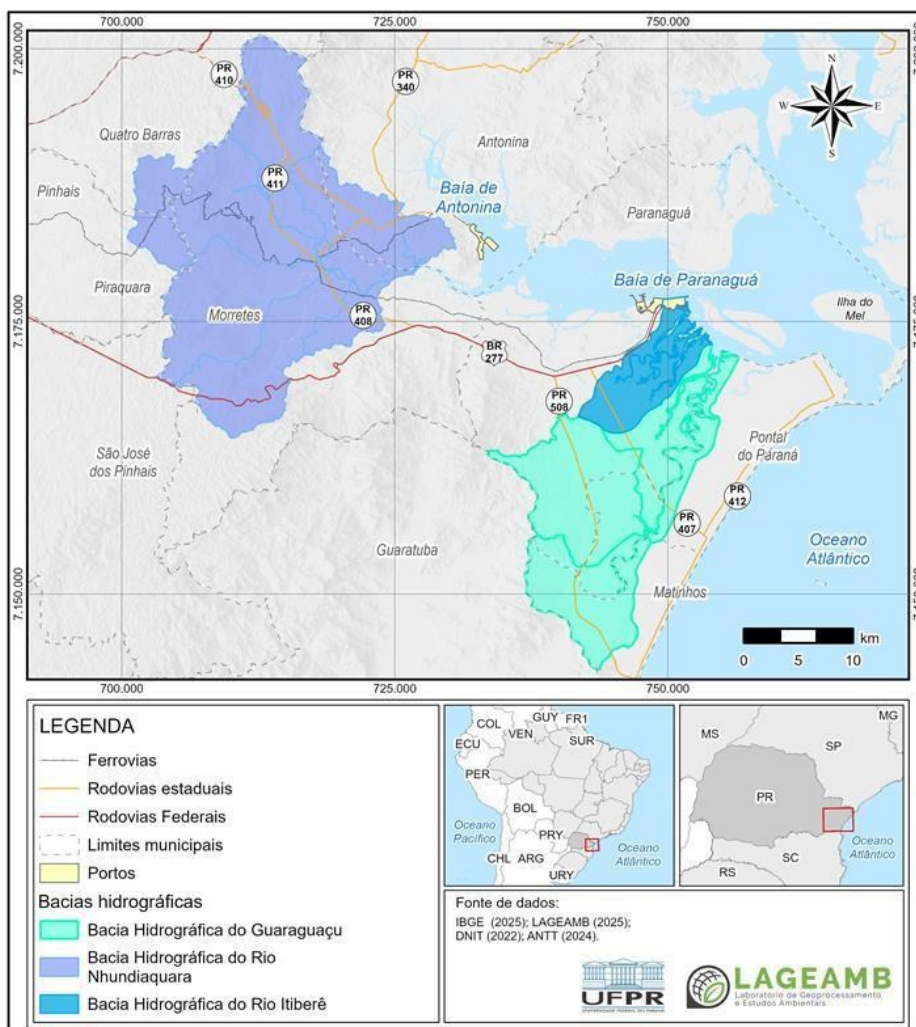


Figura 1 – Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Guaraguaçu possui aproximadamente 299 km² e está localizada entre as coordenadas 25°37'36,4"S e 48°30'29,2"O. A região apresenta clima tropical super úmido, com precipitação média anual em torno de 2.300 mm. O rio Guaraguaçu caracteriza-se como um rio de planície tropical costeira com forte influência de maré e gradiente longitudinal de salinidade (Galvanese et al., 2022). Além disso, apresenta variação longitudinal conspícua, com microhabitats distintos ao longo do curso fluvial, importantes para a manutenção da biodiversidade (Lana et al., 2001). Essa bacia fornece importantes serviços ecossistêmicos, destacando-se a provisão de água para abastecimento público e a diluição de efluentes provenientes dos municípios de Matinhos e Pontal do Paraná. Parte desses efluentes, tratados ou não, é conduzida por uma rede de canais artificiais construídos durante o processo de loteamento dos balneários, que se

interligam ao rio Guaraguaçu por meio de um canal artificial que segue o antigo curso do rio Pery, lançando efluentes diretamente no trecho médio da bacia (Elste et al., 2019).

O Rio Itiberê, por sua vez, está localizado no município de Paranaguá. Apresenta forte influência estuarina e conexão direta com o Complexo Estuarino de Paranaguá. Trata-se de um sistema submetido a intensa pressão urbana e portuária, com histórico de lançamento de efluentes domésticos e industriais, além de interferências associadas à infraestrutura portuária e à dinâmica hidrossedimentar estuarina.

O Rio Nhundiaquara, situado no município de Morretes, drena áreas da Serra do Mar e apresenta características geomorfológicas distintas dos sistemas de planície estuarina. Embora possua trechos com menor grau de urbanização em comparação aos demais rios estudados, está sujeito a pressões associadas à ocupação urbana, atividades turísticas e captação de água para abastecimento público.

As três bacias estão inseridas na região do Lagamar, reconhecida como um dos mais importantes mosaicos de áreas protegidas do bioma Mata Atlântica e de elevada relevância para a conservação da biodiversidade costeira (UNESCO, 1999). Apesar desse contexto de proteção, os sistemas apresentam diferentes níveis de pressão antrópica, configurando um gradiente regional adequado para análise integrada das relações entre poluição da água, integridade ecológica e serviços ecossistêmicos.

As coordenadas médias dos rios que compreendem os locais de execução são: Rio Guaraguaçu: -25.642197, -48.497569, Itiberê: -25.548100, -48.520675 e rio Nhundiaquara: -25.481431, -48.727811.

1.5.2 Delineamento amostral

Serão estabelecidos 27 pontos de amostragem distribuídos nos rios Guaraguaçu, Itiberê e Nhundiaquara (nove pontos de amostragem em cada curso d'água), de modo a contemplar gradientes de pressão antrópica, contemplando trechos a montante com menor influência direta, trechos sob influência de áreas urbanas, especialmente de lançamento de efluentes, e quando possível, trechos a jusante dessas áreas de maior pressão. Serão realizadas quatro campanhas amostrais, contemplando períodos de maior e menor precipitação (final do verão e final do inverno), permitindo capturar variação sazonal. Cada ponto amostral corresponderá a um trecho de 50 m georreferenciado, abrangendo margem direita, margem esquerda e região central do corpo hídrico.

1.5.3 Caracterização de pressões, estressores e contexto regulatório

1.5.3.1 Determinação de parâmetros físicos, químicos e contaminantes ambientais

As coletas de água superficial seguirão o protocolo SM 1060 do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2023). Serão utilizados frascos de polietileno (500 mL) previamente descontaminados em solução de HCl (10%). As amostras destinadas à análise de metais serão preservadas por acidificação (pH < 2) com ácido nítrico ultrapuro e mantidas sob refrigeração a 4°C até o processamento. Simultaneamente à coleta, serão realizadas medições *in situ* de parâmetros físicos e químicos da água utilizando sonda multiparâmetros (Hanna HI9829), incluindo temperatura, oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio, pH e condutividade elétrica. Esses parâmetros permitirão caracterizar as condições ambientais instantâneas dos pontos amostrados e subsidiar a interpretação da distribuição dos contaminantes e das respostas biológicas. A determinação das frações de nitrogênio (nitrato, nitrito, amônio e nitrogênio total) e fósforo (ortofosfato e fósforo total) será realizada conforme metodologias descritas no *Standard Methods* (APHA, 2023), permitindo avaliar o grau de enriquecimento trófico e sua relação com as pressões antrópicas.

A análise de fármacos e outros contaminantes orgânicos emergentes será realizada por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas em tandem (LC-MS/MS) e/ou por cromatografia em fase gasosa acoplada a detector de massas (GC-MS/MS). O procedimento incluirá acidificação da amostra, filtração a vácuo, extração em fase sólida (SPE), e análise do eluato em sistema de espectrometria de massas com triplo quadrupolo e ionização por electrospray (ESI), conforme metodologias previamente validadas. Serão investigadas classes de compostos frequentemente associadas ao lançamento de efluentes domésticos, incluindo antibióticos, anti-inflamatórios, hormônios esteroides, produtos farmacêuticos e de cuidados pessoais (PPCPs) e outras substâncias de uso recorrente detectadas em ambientes aquáticos.

A quantificação de metais e elementos potencialmente tóxicos (MEPTs) em água e sedimento será realizada conforme protocolos da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA). As análises em água serão realizadas utilizando digestão ácida segundo método SM 3030 E (*Nitric Acid Digestion*) para determinação de metais totais recuperáveis. As amostras de sedimento serão coletadas da camada superficial (0–5 cm) com auxílio de uma draga de Van Veen, seguida de secagem (40°C), desagregação e peneiramento (< 63 µm). A digestão será realizada conforme método USEPA 3050B

(*Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils*), utilizando HNO_3 e H_2O_2 sob refluxo. A determinação instrumental será realizada por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). Para avaliar fatores que influenciam a retenção e biodisponibilidade de metais, serão realizadas análises de granulometria (peneiramento para frações arenosas e sedimentação para silte e argila, conforme Suguio, 1973) e teor de matéria orgânica por Perda por Ignição (LOI), com calcinação a 550°C por 4 horas.

Para a identificação e quantificação de contaminantes convencionais e emergentes na água e no sedimento, serão inicialmente realizadas análises descritivas e exploratórias das concentrações, seguidas da aplicação de modelos lineares generalizados (GLMs) ou modelos mistos (GLMMs), a fim de avaliar diferenças espaciais entre bacias e sua associação com variáveis ambientais. Análises multivariadas, como Análise de Componentes Principais (PCA), serão empregadas para identificar agrupamentos de contaminantes e padrões de co-ocorrência.

Para avaliar respostas ecológicas na base da cadeia trófica e a capacidade de retenção de contaminantes em superfícies bentônicas, serão instalados amostradores de biofilme nos rios estudados, utilizando substratos padronizados compatíveis com protocolos de biomonitoramento, como placas de vidro ou PVC. Cada conjunto de amostradores será fixado em locais representativos ao longo do gradiente de contaminação, com exposição contínua à coluna de água por 16 dias, período que favorece o estabelecimento e maturação inicial da comunidade microbiana e do biofilme perfitico (Battin et al., 2003; Tien et al., 2009).

Transcorrido o tempo de colonização, as placas serão removidas com cuidados para evitar contaminação cruzada e o biofilme será raspado com espátulas estéreis. O material coletado será imediatamente congelado e posteriormente liofilizado para garantir a preservação das frações orgânicas e inorgânicas de interesse. Amostras de biofilme liofilizado serão submetidas à extração de contaminantes emergentes e outros compostos de interesse por meio de métodos solventes e/ou sorção em fase sólida (SPE), seguidos de análise por cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massas (LC-MS/MS) e cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC-MS/MS), conforme protocolos validados para matriz complexa (Statham et al., 2008; Górecki & Namieśnik, 2002).

Complementarmente, as amostras de biofilme serão caracterizadas microbiologicamente por meio de extração de DNA total, amplificação e sequenciamento

de marcadores taxonômicos (e.g., 16S rRNA para bactérias e 18S rRNA para microeucariotos), permitindo a avaliação da composição, diversidade e possíveis associações entre contaminação química e estrutura da comunidade microbiana (Lear et al., 2013; Romani et al., 2015)

1.5.3.2 Caracterização e Mapeamento das bacias hidrográficas estudadas

O mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra para a área de estudo, na escala 1:5.000, será realizado por meio da atualização do mapeamento publicado por Brites et al. (2023). Também serão analisados dados geográficos disponíveis na IDE Litoral (ide.lageamb.ufpr.br), como relevo (MDT - Modelo Digital do Terreno), geologia, pedologia, rede de drenagem, suscetibilidade a processos erosivos, produção de sedimentos. Será produzido, ainda, o mapa de restrições ambientais e territoriais, conforme Nowatzki et al. (2021), abrangendo as APPs (Áreas de Preservação Permanentes), Unidades de Conservação, Paisagens Tombadas pelo Patrimônio Cultural, Terrenos de Marinha (estabelecidos pela Secretaria do Patrimônio da União), Terras Indígenas, entre outros. No âmbito socioeconômico serão analisados dados dos setores censitários (IBGE, 2022), tais como densidade ocupacional e indicadores ambientais atrelados ao saneamento básico e à vulnerabilidade ambiental.

1.5.3.3 Levantamento e análise de licenças ambientais e outorgas

Será realizado o levantamento sistemático de licenças ambientais de empreendimentos de portes médio, grande e excepcional ocorrentes nas sub-bacias estudadas junto ao Instituto Água e Terra (IAT) e ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Levantamento similar será efetuado para as outorgas de direito de uso de recursos hídricos, junto à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), contemplando captações superficiais, lançamentos de efluentes, estações de tratamento, empreendimentos industriais, atividades aquícolas e demais usos potencialmente impactantes nas sub-bacias estudadas. Os dados obtidos serão organizados em banco de dados estruturado contendo, Tipo de atividade licenciada, Natureza do uso (captação, lançamento), Vazão outorgada ou volume autorizado, Coordenadas geográficas, Situação da licença (ativa, vencida, em renovação). As informações serão georreferenciadas e integradas à IDE (Infraestrutura de Dados Espaciais) do LAGEAMB, permitindo a Análise espacial das fontes potenciais de

pressão; Análise de proximidade entre pontos licenciados e locais de amostragem; Identificação de áreas com maior densidade de usos e sobreposição de pressões.

A integração das informações referentes às licenças ambientais e outorgas com os dados de qualidade ambiental na IDE permitirá análise de densidade de fontes potenciais e avaliação da proximidade entre pontos de lançamento/outorga e áreas com maior concentração de contaminantes. As atividades serão categorizadas conforme tipologia (doméstica, industrial, agropecuária, aquícola, etc), permitindo a construção de indicadores sintéticos de intensidade de pressão por sub-bacia. Assim, pretende-se localizar os empreendimentos e integrá-los na análise, promovendo uma avaliação espacial de sobreposição de áreas de influência, relacionando informações como empreendimento, pressão, e condições ecológicas na região e a jusante. Como produto aplicado à gestão, será elaborado um mapa integrado de pressões reguladas e um relatório técnico com análise crítica da distribuição das outorgas em relação à qualidade ambiental observada.

1.5.3.4 Modelagem espacial da dispersão de contaminantes

A modelagem integrada será empregada como ferramenta para avaliar a dispersão de contaminantes e os efeitos cumulativos das cargas poluidoras provenientes das bacias contribuintes sobre o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), subsidiando tecnicamente a análise de impactos no contexto do licenciamento ambiental. A abordagem metodológica será estruturada em três componentes complementares: modelagem hidrológica das bacias contribuintes, modelagem hidrodinâmica do sistema estuarino e modelagem do transporte e dispersão de contaminantes.

A modelagem hidrológica será realizada nas bacias dos rios Nhundiaquara, Guaraguaçu e Itiberê por meio do modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), amplamente utilizado para simulação de processos hidrológicos e transporte de cargas difusas. O modelo permitirá estimar vazões superficiais e subterrâneas, quantificar cargas de nutrientes e outros contaminantes de origem pontual e difusa, e avaliar a influência do uso e ocupação da terra na geração dessas cargas. Serão utilizados dados de precipitação, uso do solo, características do solo e séries históricas de vazão e qualidade da água para calibração e validação do modelo, garantindo maior robustez às simulações.

A modelagem hidrodinâmica do CEP será conduzida com o sistema SisBaHiA® (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental) (Rosman, 2020), considerando um domínio

que abrange as baías de Paranaguá, Antonina, Laranjeiras e Pinheiros, bem como suas conexões com o Oceano Atlântico. Serão incorporados dados de batimetria, curvas de maré, vazões afluentes estimadas pelo modelo hidrológico, além de informações de salinidade e temperatura. Essa etapa permitirá caracterizar os padrões de circulação, os tempos de residência da água, as zonas de maior retenção de poluentes e a conectividade entre compartimentos estuarinos.

Com base nos campos hidrodinâmicos simulados, será realizada a modelagem do transporte e dispersão de contaminantes, considerando diferentes cenários de lançamento de efluentes, incremento de cargas difusas associadas ao uso do solo e situações de eventos extremos de precipitação. Serão simulados cenários atuais e prospectivos, incluindo a atuação simultânea de múltiplos empreendimentos, permitindo avaliar impactos cumulativos e sinérgicos. Os resultados incluirão a delimitação de plumas de dispersão, estimativas de concentrações máximas previstas e identificação de áreas potencialmente vulneráveis, incluindo unidades de conservação e demais áreas protegidas.

Os produtos da modelagem alimentarão diretamente a análise de risco ecológico, a identificação de áreas críticas e a construção do Índice de Integridade Ecológica proposto no projeto. A integração entre modelagem hidrológica, hidrodinâmica e qualidade da água permitirá avaliar a capacidade de suporte do sistema, subsidiar a definição de condicionantes ambientais e apoiar a tomada de decisão no licenciamento, especialmente no que se refere à avaliação de impactos cumulativos no litoral do Paraná.

1.5.4 Biodiversidade, estrutura ecológica e serviços ecossistêmicos

A avaliação da biodiversidade será conduzida de forma integrada, contemplando múltiplos grupos biológicos e diferentes níveis de organização ecológica (taxonômico, funcional e estrutural), permitindo analisar respostas ao longo de gradientes de contaminação e intensidade de pressão antrópica. A abordagem multi-trófica possibilitará avaliar alterações na base da cadeia alimentar, nos consumidores intermediários e nos níveis superiores, fortalecendo a inferência sobre mudanças na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas aquáticos costeiros associadas à poluição da água.

O fitoplâncton será amostrado por meio da filtração de 200 L de água em rede de plâncton com abertura de malha de 20 µm, sendo o concentrado ajustado para 200 mL e

preservado com solução de Lugol. Adicionalmente, serão coletados 5 L de água não filtrada para estimativa da densidade total.

O perifiton será amostrado a partir de substratos vegetais submersos presentes nos trechos selecionados, priorizando macrófitas aquáticas de ampla ocorrência nos pontos de coleta. Sempre que possível, será utilizado o pecíolo ou estolão submerso da mesma espécie em cada rio, a fim de padronizar o substrato amostral. O material será acondicionado e transportado ao laboratório, onde o biofilme aderido será removido por raspagem e preservado em solução de Lugol para análises quantitativas e em álcool 50% para análises qualitativas. As amostras fitoplanctônicas e perifíticas serão analisadas em microscópio invertido para identificação taxonômica e estimativa de abundância relativa, considerando a estabilização da curva de acumulação de táxons.

O zooplâncton será amostrado a partir da filtração de 200 L de água em rede de plâncton (68 μm), e preservado em solução de formaldeído (40%), tamponado com carbonato de cálcio. Em laboratório, os organismos serão identificados ao menor nível taxonômico possível (Smirnov, 1974, 1976; Koste, 1978; Sendacz & Kubo, 1982; Reid, 1985; Kotov & Stifter, 2006; Segers, 1995; Elmoor-Loureiro, 1997; Perbiche-Neves et al, 2015) e quantificados sob microscopia óptica, e no mínimo 50 indivíduos por grupo: rotíferos, copépodes e cladóceros. Assim, serão estimadas a densidade, riqueza de espécies e composição taxonômica das comunidades.

Os macroinvertebrados bentônicos serão amostrados com draga tipo Petersen ou Van Veen, realizando-se três subamostras por ponto. O sedimento será lavado em peneiras com malha de 250 μm , e o material retido será preservado em álcool 70% para posterior triagem e identificação em microscópio estereoscópico. Sempre que possível, os organismos serão identificados até gênero ou família, com base nas chaves taxonômicas de Pérez (1988), Merrit & Cummins (1996), Fernández & Dominguez (2001), Mugnai et al. (2009) Salles et.al., (2018), Pes et. al., (2018) e Neiss et al., (2018).

Os ostrácodes serão amostrados em macrófitas aquáticas, coletadas manualmente e acondicionadas imediatamente em baldes plásticos (Campos et al., 2017). Espécimes como *Nymphaea* spp., *Salvinia* spp. e *Utricularia* spp. serão lavados integralmente para a remoção dos ostrácodes perifíticos. Em contrapartida, em outras espécies como *Pontederia* spp., *Pistia* spp., *Hydrocotyle* spp. e *Limnobium* spp., apenas as raízes serão lavadas, sendo as partes aéreas descartadas. O material resultante da lavagem será filtrado em rede de malha de 160 μm e preservado em etanol 70% tamponado com tetraborato de sódio (bórax). As raízes ou plantas inteiras serão armazenadas em sacos plásticos

etiquetados para posterior secagem e pesagem em laboratório, visando o cálculo da densidade dos ostrácodes por biomassa vegetal. A triagem será realizada sob microscópio estereoscópico. Os espécimes serão identificados com base na morfologia das valvas e dos apêndices (partes moles dissecadas em lâminas e analisadas sob microscopia de luz), seguindo literatura especializada.

As amostragens de plantas aquáticas seguirão protocolo adaptado do RAPELD (Magnusson et al. 2005) na qual em cada ponto todas as espécies serão registradas. Para cada espécie será estimada a abundância relativa, e para três módulos de cada espécie serão estimados os seguintes traços funcionais: área foliar específica (cm²/g), largura do caule (cm), comprimento do pecíolo (cm), comprimento da raiz (cm), herbivoria foliar (classes de Braun-Blanquet). A identificação tomará como base checklists locais (Araújo et al., 2021).

A ictiofauna será amostrada por meio de um protocolo padronizado de esforço amostral, combinando artes de pesca passivas e seletivas para diferentes classes de tamanho e hábitos, incluindo redes de espera com diferentes malhagens e armadilhas tipo covo para indivíduos de pequeno porte. Os indivíduos capturados serão identificados ao menor nível taxonômico possível, mensurados (comprimento padrão e total) e pesados. A estrutura das assembleias será descrita por métricas de riqueza, abundância relativa, biomassa, estrutura de tamanhos e composição. Exemplares testemunhos serão destinados a coleção científica regional, seguindo protocolos institucionais.

Sempre que possível, as amostragens em campo para todos os grupos biológicos serão realizadas sob condições hidrológicas comparáveis entre pontos (incluindo registro de maré/salinidade nos trechos sob influência estuarina), visando reduzir a variabilidade não associada à pressão antrópica.

Para integrar as respostas biológicas aos gradientes ambientais, serão calculadas métricas clássicas de diversidade, incluindo riqueza de espécies (Magurran, 2004), diversidade de Shannon (Shannon, 1948) e Simpson (Simpson, 1949), bem como índices de equitabilidade (Pielou, 1966), amplamente utilizados na avaliação da estrutura de comunidades ecológicas. A composição taxonômica será analisada por meio de matrizes de abundância e presença-ausência, permitindo avaliar padrões de substituição de espécies e similaridade entre locais ao longo dos gradientes ambientais (Legendre & Legendre, 2012).

A estrutura trófica das comunidades será caracterizada a partir da atribuição dos organismos a grupos funcionais alimentares, conforme proposto por Cummins (1973) e

amplamente aplicado em ecossistemas aquáticos (Merritt, Cummins & Berg, 2008), possibilitando avaliar alterações na organização da teia alimentar e no fluxo de energia.

A diversidade funcional será estimada com base em matrizes de traços ecológicos, seguindo a abordagem proposta por Petchey & Gaston (2002) e desenvolvida por Laliberté & Legendre (2010), permitindo calcular métricas como riqueza funcional (FRic), equitabilidade funcional (FEve) e divergência funcional (FDiv). Essa abordagem possibilita avaliar redundância funcional, amplitude de nicho e vulnerabilidade a perdas funcionais (Walker, 1992; Mouillot et al., 2013), fornecendo uma perspectiva mecanística sobre possíveis alterações no funcionamento ecossistêmico associadas aos gradientes de contaminação.

As relações entre biodiversidade, contaminantes, parâmetros físicos e químicos, uso do solo e intensidade de pressões antrópicas serão avaliadas por meio de análises multivariadas e modelos estatísticos, permitindo identificar padrões espaciais, espécies indicadoras, simplificação trófica e possíveis limiares ecológicos associados ao aumento da contaminação. Essa abordagem integrada possibilitará avaliar alterações na estrutura ecológica, no funcionamento das comunidades aquáticas e na provisão de serviços ecossistêmicos associados, subsidiando a identificação de áreas críticas para a integridade ecológica desses rios costeiros.

1.5.5 Avaliação da bioacumulação e risco ecológico

A avaliação da bioacumulação e do risco ecológico será realizada seguindo a abordagem do *Ecological Risk Assessment* (ERA), conforme diretrizes da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 1998). A abordagem será organizada em três etapas inter-relacionadas: formulação do problema, análise da exposição e dos efeitos, e caracterização do risco. Inicialmente, serão definidos os contaminantes prioritários (metais potencialmente tóxicos), os compartimentos ambientais avaliados (água, sedimento e biota) e os receptores ecológicos de interesse. A depender da disponibilidade local, poderão ser utilizados camarões do gênero *Macrobrachium* como organismos sentinela; alternativamente, a metodologia poderá ser aplicada a peixes bioindicadores. Também serão estabelecidos os *endpoints* ecológicos, incluindo níveis de bioacumulação tecidual, respostas em biomarcadores genéticos e bioquímicos e possíveis implicações para a transferência trófica.

A análise da exposição envolverá a quantificação das concentrações de metais na água, no sedimento e nos tecidos dos organismos. Para estimar a incorporação e a transferência dos contaminantes na biota, serão calculados o Fator de Bioconcentração (BCF) (Arnot & Gobas, 2006), o Fator de Bioacumulação (BAF) (Gobas et al., 2009) e o Fator de Magnificação Trófica (TMF), este último obtido por regressão entre o logaritmo da concentração do metal e o nível trófico (Borga et al., 2004). Valores de TMF superiores a 1 serão interpretados como indicativos de biomagnificação. A avaliação de efeitos será realizada por meio de biomarcadores genéticos, como o teste do micronúcleo e o ensaio cometa, e biomarcadores bioquímicos associados ao estresse oxidativo e à neurotoxicidade (Van der Oost et al., 2003).

Esses resultados serão interpretados de forma integrada aos dados químicos e comparados, quando pertinente, a valores orientadores internacionais, como aqueles sistematizados pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 1999). A caracterização do risco resultará da integração entre dados de contaminação ambiental, bioacumulação e respostas biológicas, adotando uma abordagem de múltiplas linhas de evidência (Chapman et al., 2002). Será calculado o Quociente de Risco (RQ), obtido pela razão entre a concentração ambiental medida (MEC) e a concentração predita sem efeito (PNEC), sendo valores superiores a 1 indicativos de potencial risco ecológico (USEPA, 1998; Van Leeuwen & Vermeire, 2007).

1.5.6 Avaliação de efeitos ecotoxicológicos decorrentes da exposição a contaminantes ambientais

A pesca constitui um serviço ecossistêmico de elevada relevância socioeconômica na região. Nesse contexto, para identificar potenciais impactos da poluição sobre a biota aquática e seus reflexos na qualidade ambiental, será avaliada a ecotoxicidade utilizando peixes como organismos-teste. Os peixes serão coletados a campo e anestesiados com cloridrato de benzocaína (100mg/L) segundo as Diretrizes da Prática de Eutanásia estabelecidas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA, 2018). Nos peixes amostrados, serão realizadas análises dos biomarcadores genéticos (Micronúcleo písceo e Ensaio Cometa) e bioquímicos (atividades das enzimas AChE, GST, CAT e análise de lipoperoxidação). Para análise dos biomarcadores, serão avaliados, por ponto, quinze espécimes de uma espécie bioindicadora a ser selecionada. A observação da frequência de micronúcleos e alterações morfológicas nucleares em

hemácias (ENAs) periféricas seguirá Heddle (1973) e Schmid (1975). Análises de esfregaços serão realizadas em microscópio óptico, procedendo a varredura sistemática e quantificação de 1.000 células íntegras/lâmina/espécime. Alterações dos núcleos dos eritrócitos serão quantificadas como ENAs e classificadas como lobbed, blebbed, vacuolated, binucleated e notched (Carrasco et al., 1990).

O Ensaio Cometa será realizado em eritrócitos (Ferraro et al., 2009). As lâminas serão coradas com 20 µL brometo de etídeo, e analisadas em microscópio de epifluorescência. Para cada espécime, serão analisados 100 nucleoides, usando a classificação visual baseada na migração de fragmentos de DNA, seguindo as classes que vão de 0 (sem dano aparente) a 4 (dano máximo, apoptose). O escore será calculado multiplicando o número de núcleos encontrado em dada classe pelo número da classe.

Os tecidos destinados à análise bioquímica serão homogeneizados num lisador de tecidos. Depois disso, a quantidade de proteína será medida de acordo com o protocolo de Bradford (BRADFORD, 1976). A atividade da acetilcolinesterase será determinada usando a técnica colorimétrica descrita por ELLMAN et al. (1961) e adaptada para microplaca (SILVA DE ASSIS, 1998). Para medir a atividade da GST em fígado, a fração S9 será obtida e a atividade global de GST será medida em espectrofotômetro em utilizando 1-cloro-2,4-dinitrobenzeno (CDNB) 3 mM e glutathione reduzida (GSH) 3 mM como substratos (KEEN; HABIG; JAKOBY, 1976). A atividade da Catalase (CAT) será determinada usando o método por Aebi (1984) e os níveis de lipoperoxidação (LPO) serão avaliados pelo método FOX (Jiang et al., 1992).

1.5.7 Integração dos dados, desenvolvimento de indicadores e avaliação de impactos

O índice multimétrico de integridade ecológica será desenvolvido para a avaliação da saúde ambiental dos rios costeiros avaliados. Inicialmente será identificado o gradiente de perturbação de bacia, com a definição dos locais mais preservados (referência) e mais impactados pelos diferentes estressores ambientais. Em seguida, será feita a análise de medidas bioindicadoras (métricas) comparando os locais de referência com os demais locais amostrados. O gradiente de perturbação será definido a partir da integração de indicadores de pressão antrópica, incluindo densidade de empreendimentos licenciados e outorgas, intensidade de uso do solo na bacia (urbanização, agricultura, cobertura natural), carga estimada de nutrientes e presença de contaminantes prioritários. Esses indicadores serão padronizados e integrados para compor um índice composto de pressão

ambiental, utilizado para ordenar os pontos amostrais ao longo de um gradiente de condição ambiental. Critérios objetivos que poderão ser utilizados para delimitação de locais de referência incluem: (i) baixa densidade de usos licenciados e captações outorgadas; (ii) baixa concentração de contaminantes e nutrientes; (iii) maior integridade de habitat ripário e conectividade longitudinal; e (iv) ausência de evidências ecotoxicológicas relevantes. Esses critérios visam garantir a robustez ecológica da condição de referência adotada.

As métricas serão compostas de atributos correspondentes às propriedades estruturais e funcionais dos diferentes grupos biológicos amostrados (Ruaro et al., 2019; 2020), incluindo atributos de riqueza e diversidade, composição (% de grupos taxonômicos, proporção entre taxa), tolerância (número de táxon dominante, número de táxons intolerantes), e medidas tróficas funcionais (número de táxon predador, número de táxon detritívoro, número de táxon onívoro, dentre outros). As métricas serão testadas seguindo os critérios de: capacidade de resposta à perturbação, redundância, variabilidade natural e reprodutibilidade. As métricas selecionadas para compor o índice serão pontuadas em uma escala contínua (0-1) conforme a variação da resposta (quartis) ao gradiente de perturbação. Serão determinadas categorias de integridade ecológica estabelecidas de acordo com os valores do MMI, por exemplo muito bom $> 0,8$, bom $0,6 \geq 0,8$, moderado $0,4 \geq 0,6$, pobre $0,2 \geq 0,4$ e ruim $< 0,2$.

Assim, o índice proposto poderá ser utilizado para avaliação das condições de acordo com classes de condição ecológica (referência, intermediária e degradada) com base nos indicadores desenvolvidos. Essa ferramenta poderá ser utilizada tanto pelos empreendimentos nas ações de monitoramento ambiental, bem como pelos órgãos gestores. O uso de índices multimétricos com delimitação de classes de condições ecológicas é amplamente usado em diversos países para monitoramento e gestão de bacias hidrográficas (Ruaro et al., 2020), pois são ferramentas que conseguem transmitir em um único valor informações ecológicas complexas para a sociedade como um todo. Além da aplicação nas bacias estudadas, o projeto buscará consolidar um Índice multimétrico de referência para rios costeiros do litoral do Paraná, com potencial de aplicação regional e adaptação para outros sistemas costeiros com características ambientais semelhantes.

A avaliação da aplicabilidade no contexto do licenciamento ambiental será realizada a partir da análise integrada das licenças ambientais e outorgas vigentes nas bacias estudadas, com identificação dos indicadores atualmente exigidos nos programas de monitoramento e das condicionantes associadas à qualidade da água e ao lançamento

de efluentes. Serão sistematizadas informações sobre parâmetros físico-químicos monitorados, frequência de amostragem, limites estabelecidos e critérios de conformidade adotados. Esses dados serão comparados aos resultados obtidos no presente projeto, incluindo métricas biológicas, funcionais, concentrações de contaminantes, evidências ecotoxicológicas e indicadores integrados de condição ecológica.

A partir dessa integração, será avaliada a convergência ou divergência entre o diagnóstico baseado exclusivamente em parâmetros físico-químicos e aquele derivado da incorporação de métricas biológicas e funcionais. Essa análise permitirá identificar situações de conformidade regulatória associadas a perda de integridade ecológica, bem como avaliar lacunas nos programas de monitoramento atualmente exigidos. Com base nesses resultados, serão propostas recomendações técnicas para o aprimoramento dos indicadores utilizados no licenciamento ambiental, incluindo a incorporação de métricas ecológicas integradas e critérios para avaliação de impactos cumulativos nos corpos hídricos receptores.

A identificação de áreas críticas para a integridade ecológica dos ecossistemas aquáticos estudados será realizada por meio da integração espacial de indicadores ecológicos, dados de contaminação, intensidade de pressões antrópicas e informações regulatórias em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). A análise considerará simultaneamente a condição ecológica dos corpos hídricos e o contexto territorial e regulatório em que se inserem, com base na aplicação do índice multimétrico desenvolvido no projeto.

Serão definidos critérios de criticidade ecológica a partir dos resultados integrados obtidos, incluindo: (i) valores reduzidos do índice multimétrico de integridade ecológica; (ii) diminuição significativa da diversidade taxonômica e funcional; (iii) evidências de simplificação trófica; (iv) concentrações elevadas de contaminantes na água, sedimento ou biota; (v) quocientes de risco ecológico superiores a valores de referência; e (vi) ocorrência de efeitos ecotoxicológicos detectados em ensaios padronizados. Esses indicadores serão padronizados e espacializados por trecho de rio ou unidade amostral, permitindo representar gradientes de condição ecológica.

A partir da integração dessas informações, será realizada análise espacial integrativa para classificar os trechos dos corpos hídricos em diferentes níveis de criticidade para a integridade ecológica (por exemplo: baixa, moderada, alta e muito alta). Serão consideradas áreas críticas aquelas que apresentarem simultaneamente perda

significativa de integridade ecológica, evidências de risco ecológico e elevada intensidade de pressões antrópicas associadas a fontes identificáveis.

Adicionalmente, será avaliada a sobreposição entre áreas críticas identificadas e a localização de empreendimentos licenciados ativos e captações outorgadas, permitindo analisar a coerência entre o estado ecológico observado e o contexto regulatório vigente. Essa análise possibilitará discutir potenciais lacunas no monitoramento ambiental atualmente exigido, bem como a necessidade de aprimoramento de indicadores ou de revisão de condicionantes.

1.6 METAS E INDICADORES

| Meta | Mês de início | Mês de término | Indicador |
|---|----------------------|-----------------------|---|
| Definição e georreferenciamento dos pontos de amostragem nos rios Guaraguaçu, Itiberê e Nhundiaquara | 1 | 6 | Banco de dados com coordenadas e caracterização dos 27 pontos |
| Aquisição de equipamentos e bens de capital para auxílio das amostragens e análises de dados | 1 | 36 | Número de equipamentos e bens adquiridos |
| Levantamento sistemático de licenças ambientais e outorgas nas sub-bacias estudadas | 1 | 18 | Banco de dados georreferenciado de licenças e outorgas |
| Mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo nas sub-bacias | 6 | 18 | Mapas temáticos gerados em SIG |
| Realização de quatro campanhas amostrais sazonais | 6 | 26 | Número de campanhas realizadas |
| Determinação de contaminantes convencionais e emergentes em água e sedimento | 6 | 30 | Relatórios analíticos com concentrações e padrões espaciais |
| Modelagem espacial da dispersão de contaminantes | 6 | 30 | Modelos espaciais e mapas preditivos gerados |
| Caracterização quali-quantitativa das comunidades biológicas (biofilmes, plâncton, macroinvertebrados, macrófitas e peixes) | 6 | 30 | Relatórios técnicos por grupo biológico |
| Avaliação de bioacumulação e transferência trófica de contaminantes | 12 | 32 | Relatório técnico com resultados integrados |
| Realização de ensaios ecotoxicológicos e biomarcadores | 6 | 30 | Relatório de efeitos biológicos e ecotoxicológicos |
| Avaliação de risco ecológico associada aos contaminantes detectados | 18 | 34 | Relatório de quocientes de risco e classificação de risco |

| | | | |
|---|----|----|---|
| Desenvolvimento e validação de indicadores ecológicos integrados | 20 | 34 | Conjunto de métricas selecionadas e testadas |
| Construção e aplicação do Índice Multimétrico de Integridade Ecológica | 22 | 36 | Índice validado e classificação das condições ecológicas dos rios avaliados |
| Análise comparativa entre abordagem físico-química tradicional e abordagem integrada de avaliação de impactos | 24 | 36 | Relatório técnico comparativo |
| Identificação e espacialização de áreas críticas para a integridade ecológica | 26 | 36 | Mapas de criticidade ecológica |
| Elaboração de protocolo simplificado para aplicação no licenciamento ambiental | 28 | 36 | Protocolo técnico elaborado |
| Realização de oficinas técnicas com órgãos ambientais e gestores | 20 | 36 | Número de oficinas realizadas |
| Publicações científicas e produtos técnicos | 18 | 36 | Número de artigos submetidos/publicados e relatórios técnicos |
| Relatório final e síntese executiva para órgãos gestores | 34 | 36 | Relatório final entregue |

1.7 PRINCIPAIS RESULTADOS, PRODUTOS E CONTRIBUIÇÕES ESPERADOS

O projeto resultará na consolidação de uma abordagem integrada para avaliação de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos costeiros do Paraná, combinando a análise de pressões antrópicas, contaminação química, respostas biológicas e o desenvolvimento de indicadores ecológicos aplicáveis à gestão ambiental. Em termos de avanços no conhecimento científico, espera-se gerar um diagnóstico inédito e espacialmente explícito da integridade ecológica dos rios Guaraguaçu, Itiberê e Nhundiaquara, integrando a distribuição espacial de contaminantes convencionais e emergentes em água, sedimento e biota; os padrões de bioacumulação e transferência trófica; as respostas ecotoxicológicas e biomarcadores de efeito; a estrutura e o funcionamento das comunidades aquáticas; e a classificação da integridade ecológica por meio de um índice multimétrico. O projeto produzirá evidências quantitativas sobre como as pressões ambientais, especialmente decorrentes da poluição, se traduzem em alterações estruturais e funcionais nos ecossistemas aquáticos costeiros, além de gerar publicações científicas de alto impacto e consolidar uma metodologia replicável para outros sistemas costeiros brasileiros.

No que se refere aos resultados técnicos aplicados à gestão, prevê-se a criação e disponibilização de um banco de dados georreferenciado contendo informações sobre pressões ambientais, licenças, uso do solo, contaminantes e indicadores biológicos; a elaboração de mapas de áreas críticas e prioritárias para gestão e restauração com base na vulnerabilidade ecológica; o desenvolvimento e validação de um Índice Multimétrico de Integridade Ecológica para ecossistemas costeiros; o qual permitirá classificar trechos de rios quanto à condição ecológica (referência, intermediária ou degradada), podendo ser utilizado como critério técnico complementar para avaliação de conformidade ambiental, definição de condicionantes e priorização de ações de recuperação em processos de licenciamento; a proposição de um protocolo técnico simplificado para aplicação em processos de licenciamento ambiental e monitoramento; a produção de um relatório de avaliação comparativa entre a abordagem físico-química tradicional e a abordagem integrada de impactos; e a elaboração de relatório técnico executivo direcionado a órgãos ambientais estaduais e municipais.

Adicionalmente, será elaborado um Protocolo Técnico de Aplicação do Índice Multimétrico de Integridade Ecológica, contendo orientações metodológicas simplificadas, critérios de classificação, fluxograma decisório para aplicação em contextos de licenciamento ambiental. Além disso, o protocolo poderá subsidiar a elaboração de Nota Técnica a ser disponibilizada aos órgãos ambientais estaduais e federais, consolidando recomendações para incorporação dos indicadores desenvolvidos em rotinas de avaliação de impacto e monitoramento.

A avaliação abrangente permitirá identificar situações em que parâmetros físico-químicos indicam conformidade legal, mas o índice ecológico evidencia perda de integridade ambiental, fornecendo subsídios objetivos para revisão de condicionantes, monitoramento e tomada de decisão em processos de licenciamento. Esses produtos apresentam potencial de incorporação direta em instrumentos de licenciamento, monitoramento e planejamento territorial. Ressalta-se que toda a base de dados produzida no âmbito do projeto seguirá a metodologia de organização e padronização de dados publicada por Krama, Costa e Paula (2025), devendo ser integrada à Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) do LAGEAMB (ide.lageamb.ufpr.br).

Quanto às contribuições para políticas públicas e governança ambiental, o projeto contribuirá para o fortalecimento técnico do processo de licenciamento ambiental no litoral do Paraná, o aprimoramento da avaliação de risco ecológico em sistemas costeiros, o subsídio à implementação de metas relacionadas à conservação da biodiversidade

aquática, o apoio à priorização de ações de restauração ecológica e a integração entre universidades e órgãos gestores ambientais. A proposta também poderá subsidiar revisões metodológicas de programas de monitoramento oficiais ao demonstrar a superioridade de abordagens integradas em relação a análises exclusivamente físico-químicas.

O projeto contribuirá ainda para a formação de recursos humanos e para o legado institucional, fomentando a formação de mestres, doutores e estudantes de graduação, a capacitação técnica em monitoramento ecológico integrado, a consolidação de redes de colaboração com órgãos ambientais e a estruturação de uma base de dados estratégica para pesquisas futuras.

Ao final, espera-se entregar uma ferramenta operacional capaz de diagnosticar impactos ambientais de forma integrada, reduzir incertezas em decisões de licenciamento, priorizar áreas para intervenção, apoiar políticas públicas baseadas em evidências e fortalecer a conservação de ecossistemas aquáticos costeiros.

Adicionalmente, serão realizados workshops técnico-científicos com órgãos ambientais, incluindo o Instituto Água e Terra, o IBAMA, o ICMBio e prefeituras do litoral. Espera-se que o protocolo proposto seja discutido em workshop técnico com órgãos ambientais visando alinhamento metodológico e potencial incorporação institucional. Essa ação integrada com os órgãos ambientais poderá resultar na elaboração de nota técnica para uso do índice multimétrico em processos de avaliação de impacto e monitoramento relacionados ao licenciamento ambiental. A equipe já possui experiência prévia nessa interface institucional, tendo participado do 1º Workshop de Conhecimentos para Comitês de Bacias Hidrográficas, promovido pelo Instituto Água e Terra em 2025, no âmbito da iniciativa UNICBH – Construindo Pontes entre Universidades e Comitês de Bacias.

1.8 REFERÊNCIAS

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121–6. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6727660>

Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35(1), 257-284.

American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). APHA.

Arnot, J. A.; Gobas, F. A. P. C. A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms. *Environmental Reviews*, v. 14, p. 257–297, 2006.

Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological monographs*, 81(2), 169-193.

Belanha, Leonesa da S.; PAZ, Otacílio L. de S. da; PADIAL, Andre A.; AZEVEDO, Júlio C. R. de; HUGHES, Robert M.; RUARO, Renata. Water pollution drives environmental degradation in a seasonally influenced Neotropical coastal river. No prelo. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14956-w>

Borga, K. et al. Trophic magnification factors: considerations of ecology, ecosystems, and study design. *Environmental Science & Technology*, v. 38, p. 1719–1726, 2004.

Borja, A., Franco, J., & Pérez, V. (2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine pollution bulletin*, 40(12), 1100-1114.

Borja, A., et al. (2006). The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess ecological status. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 151–160.

Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72(1-2):248–54. doi:10.1016/0003-2697(76)90527-3

Brasil. (1997). Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Presidência da República. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm

Brasil Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 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.

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/resolucoes/CONAMA/RES35705.pdf>

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2011). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. <<http://www.planalto.gov.br>>

Britez, R. M. ; Roderjan, Carlos Vellozo ; Paz, O. L. S. ; Nehls, B. I. M. ; Krama, L. B. ; Pilatti, D. M. ; Paula, E. V. Mapeamento da Cobertura Vegetal e Uso da Terra no Litoral do Paraná. Curitiba: LAGEAMB, 2023 (Caderno com síntese de Projeto).

Carles, L., Wullschleger, S., Joss, A., Eggen, R. I., Schirmer, K., Schuwirth, N., ... & Tlili, A. (2021). Impact of wastewater on the microbial diversity of periphyton and its

tolerance to micropollutants in an engineered flow-through channel system. *Water research*, 203, 117486.

Carpenter, S. R., Kitchell, J. F., & Hodgson, J. R. (1985). Cascading trophic interactions and lake productivity. *BioScience*, 35(10), 634–639.

Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, 8(3), 559-568.

Carpenter, S. R., Mooney, H. A., Agard, J., Capistrano, D., DeFries, R. S., Díaz, S., ... & Whyte, A. (2009). Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(5), 1305-1312.

Carvalho, F.G., Loyau, A., Kelly-Irving, M. et al. Aquatic ecosystem indices, linking ecosystem health to human health risks. *Biodivers Conserv* 34, 723–767 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10531-025-03010-3>

Choueri, R. B., Cesar, A., Torres, R. J., Abessa, D. M. D. S., Morais, R. D., Pereira, C. D. S., ... & DelValls, T. A. (2009). Integrated sediment quality assessment in Paranaguá estuarine system, southern Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(7), 1824-1831.

Costa, A. P. T., Castro, E., Silva, C. F. M. D., & Schneck, F. (2022). Eutrophication changes community composition and drives nestedness of benthic diatoms from coastal streams. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 34, e14.

Cummins, K. W. (1973). Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology*, 18, 183–206.

Cunha, D. G. F., Calijuri, M. D. C., Lamparelli, M. C., & Menegon Jr, N. (2013). CONAMA Framework Resolution 357/2005: spatial and temporal analysis of water quality legal compliances in rivers and reservoirs from São Paulo state, Brazil (2005-2009). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 18, 159-168.

Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *science*, 321(5891), 926-929.

Dugan, P. J., Baran, E., Tharme, R., Prein, M., Ahmed, R., Amerasinghe, P., ... & Welcomme, R. (2002). The contribution of aquatic ecosystems and fisheries to food security and livelihoods: a research agenda. Colombo, Sri Lanka.

Emon, F. J., Rohani, M. F., Sumaiya, N., Tuj Jannat, M. F., Akter, Y., Shahjahan, M., ... & Goh, K. W. (2023). Bioaccumulation and bioremediation of heavy metals in fishes—a review. *Toxics*, 11(6), 510.

Ellman, G. L., Courtney, K. D., Andres, V.,; Feather-Stone, R. M. (1961). A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochemical*

Pharmacology, 7, 88– 95. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13726518>

Elste, G. A. S.; et al. A contaminação do Rio Guaraguaçu (litoral do Paraná): limites e riscos ao desenvolvimento territorial regional. *Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável*, v.5, n.2, p.54-70, 2019.

Ferguson, G., & Gleeson, T. (2012). Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. *Nature climate change*, 2(5), 342-345.

Galvanese, E. F.; et al. Community stability and seasonal biotic homogenisation emphasize the effect of the invasive tropical tanner grass on macrophytes from a highly dynamic neotropical tidal river. *Aquatic Sciences*, v.84, n.2, p.30, 2022.

Gillson, J. (2011). Freshwater flow and fisheries production in estuarine and coastal systems: where a drop of rain is not lost. *Reviews in Fisheries Science*, 19(3), 168-186.

Gobas, F. A. P. C. et al. Bioaccumulation and biomagnification in the aquatic environment. In: Van Leeuwen, C. J.; Vermeire, T. G. (eds.). *Risk Assessment of Chemicals*. Dordrecht: Springer, 2007.

Häder, D. P., Banaszak, A. T., Villafañe, V. E., Narvarte, M. A., González, R. A., & Helbling, E. W. (2020). Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. *Science of the Total environment*, 713, 136586.

Halpern, B. S., Frazier, M., Potapenko, J., Casey, K. S., Koenig, K., Longo, C., ... & Walbridge, S. (2015). Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature communications*, 6(1), 7615.

Hillebrand, H. (2004). On the generality of the latitudinal diversity gradient. *The American Naturalist*, 163(2), 192-211.

Howard, J., Sutton-Grier, A., Herr, D., Kleypas, J., Landis, E., Mcleod, E., ... & Simpson, S. (2017). Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(1), 42-50.

Iyiola, A. O., Akinrinade, A. J., & Ajayi, F. O. (2022). Effects of Water pollution on biodiversity along the coastal regions. In *Biodiversity in Africa: Potentials, threats and conservation* (pp. 345-367). Singapore: Springer Nature Singapore.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). *Manual técnico da vegetação brasileira* (2ª ed.). IBGE.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2013). *Manual técnico de uso da terra* (3ª ed.). IBGE.

Laliberté, E., & Legendre, P. (2010). A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology*, 91(1), 299–305.

Lana, P. C.; et al. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: Seeliger U, Lacerda LD, Kjerfve BJ (eds) Coastal marine ecosystems of Latin America. Springer, Berlin, p.131–145, 2001.

Lefcheck, J. S., Hughes, B. B., Johnson, A. J., Pfirrmann, B. W., Rasher, D. B., Smyth, A. R., ... & Orth, R. J. (2019). Are coastal habitats important nurseries? A meta-analysis. *Conservation Letters*, 12(4), e12645.

Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical ecology* (3rd English ed.). Elsevier.
Karr, J. R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6(6), 21-27.

Karr, J. R., & Dudley, D. R. (1981). Ecological perspective on water quality goals. *Environmental management*, 5(1), 55-68.

Keen, J. H., Habig, W. H., Jakoby, W. B. (1976) Mechanism for the several activities of the glutathione S transferases. *J Biol Chem* 251(20): 6183–6188

Krama, L. B. ; Costa, Leticia Nunes ; Paula, E. V. . Manual Técnico: Gestão E Padronização de dados geoespaciais. Curitiba: LAGEAMB - UFPR, 2025 (Manual Técnico).

Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.
MEA- Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: wetlands and water*. World resources institute, 2005.

Micella, I., Kroeze, C., Bak, M. P., & Stokal, M. (2024). Causes of coastal waters pollution with nutrients, chemicals and plastics worldwide. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115902.

Merritt, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M. B. (2008). *An introduction to the aquatic insects of North America* (4th ed.). Kendall/Hunt Publishing Company.

Mouillot, D., Graham, N. A. J., Villéger, S., Mason, N. W. H., & Bellwood, D. R. (2013). A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(3), 167–177.

Nixon, S. W. (1995). Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia*, 41(1), 199-219.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. *Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs)*. Washington: NOAA, 1999.

Nowatzki, A. ; Couto, J. P. B. ; Paula, E. V. ; Fernandes, C. V. S. . Restrições Socioambientais Ao Uso Da Terra E Seu Estado De Antropização Na Ugrh Do Paranapanema: Subsídios À Gestão Territorial. *Rega - Revista De Gestão De Água Da América Latina*, V. 18, P. 15, 2021.

Petchey, O. L., & Gaston, K. J. (2002). Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology Letters*, 5(3), 402–411.

Pielou, E. C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131–144.

Rakib, M. R. J., Rahman, M. A., Onyena, A. P., Kumar, R., Sarker, A., Hossain, M. B., ... & Sun, X. (2022). A comprehensive review of heavy metal pollution in the coastal areas of Bangladesh: abundance, bioaccumulation, health implications, and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(45), 67532-67558.

Reis, C. S. D.; et al. Avaliação da atividade antrópica no rio Guaraguaçu (Pontal do Paraná, Paraná). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v.20, n.3, p.389-394, 2015.

Richardson, C. M., Peucker-Ehrenbrink, B., Wyatt, S., Bourbonnais, A., Hatje, V., Frey, C., ... & Paytan, A. (2025). Effects of climate change on river and groundwater nutrient inputs to the coastal ocean. *Communications Earth & Environment*, 6(1), 761.

Roderjan, C.V.; et al. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. *Ciência & Ambiente*, v.13, p.75-92, 2002.

Rosman, P. C. C. (2020) Referência técnica do SisBaHiA. Rio de Janeiro: Escola Politécnica e da Área de Engenharia, Coppe, UFRJ: Rio de Janeiro.

Roveri, V., Guimarães, L. L., Toma, W., & Correia, A. T. (2020). Occurrence and ecological risk assessment of pharmaceuticals and cocaine in a beach area of Guarujá, São Paulo State, Brazil, under the influence of urban surface runoff. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(36), 45063-45075.

Ruaro, R., Gubiani, E. A., Hughes, R. M., & Mormul, R. P. (2020). Global trends and challenges in multimetric indices of biological condition. *Ecological Indicators*, 110, 105862.

Ruaro, R., Gubiani, É. A., Padial, A. A., Karr, J. R., Hughes, R. M., & Mormul, R. P. (2024). Responses of multimetric indices to disturbance are affected by index construction features. *Environmental Reviews*, 32(2), 278-293.

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379–423, 623–656.

Schindler, D. W. (1987). Detecting ecosystem responses to anthropogenic stress. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 44(S1), s6-s25.

Silva, L. Z., Machado, E. D. C., & Morais, R. D. D. (2010). Avaliação da qualidade dos sedimentos superficiais da desembocadura dos Rios Itiberê e Nhundiaquara, e do Canal Anhaia no complexo estuarino de Paranaguá (Paraná-Brasil).

Small, C., & Nicholls, R. J. (2003). A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of coastal research*, 584-599.

Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.

Souza, D. S. C., de Azevedo-Cutrim, A. C. G., dos Santos Sá, A. K. D., Cutrim, M. V. J., de Oliveira, A. V. G., da Cruz, Q. S., ... & Souza, C. C. (2025). Dynamics of phytoplankton functional groups and carbon concentrations in an estuary on the Brazilian equatorial margin. *Marine Environmental Research*, 107559.

UNESCO World Heritage Centre. (1999). Atlantic Forest South-East Reserves. UNESCO. <https://whc.unesco.org/en/list/8>

USEPA – United States Environmental Protection Agency. Guidelines for Ecological Risk Assessment. EPA/630/R-95/002F. Washington, 1998.

Van Leeuwen, C. J.; Vermeire, T. G. Risk Assessment of Chemicals: An Introduction. Dordrecht: Springer, 2007.

Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., ... & Davies, P. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *nature*, 467(7315), 555-561.

Walker, B. H. (1992). Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology*, 6(1), 18–23.

Wang, P., Zhang, J., Ma, J., Guo, L., Yang, L., Ma, X., ... & Cao, S. (2023). What impacts ecosystem services in tropical coastal tourism cities? A comparative case study of Haikou and Sanya, China. *Journal of Environmental Management*, 342, 118227.

Wang, L., Sead, F. F., Khoshmanesh, M., Sanati, A. M., Su, K., & Ramavandi, B. (2026). Co-exposure of mercury and microplastics in aquatic food webs: A review of sources, bioaccumulation, and ecotoxicological risks. *Marine Pollution Bulletin*, 222, 118882.

Wen, C., Li, Q., Zhu, D., Zhong, M., Zhu, S., Xu, H., ... & Luo, X. (2024). Biofilm-mediated heavy metal bioaccumulation and trophic transfer in a mining-contaminated river. *Water Research*, 267, 122487.

2. EQUIPE TÉCNICA

A equipe técnica é formada por profissionais das instituições parceiras: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Universidade Estadual de Maringá e Universidade Estadual do Paraná. A equipe possui formação multidisciplinar nas áreas de engenharia ambiental e de recursos hídricos, biologia, ecologia, ecotoxicologia, química ambiental, modelagem e geoprocessamento, assegurando uma abordagem integrada e consistente na execução das atividades propostas. O grupo reúne experiência complementar em caracterização biológica, análise

de contaminantes, modelagem de dispersão, desenvolvimento de indicadores ecológicos e aplicação dos resultados científicos à gestão ambiental.

A coordenação técnica da equipe é exercida pela proponente, que também atua como coordenadora do projeto “Avaliando múltiplos estressores em ambientes aquáticos costeiros” (CNPq nº 409593/2022-2), demonstrando experiência consolidada na gestão técnico-científica de projetos financiados por agências nacionais. A coordenação possui trajetória comprovada na condução de pesquisas no rio Guaraguaçu, incluindo planejamento e execução de campanhas de campo, articulação institucional e integração de dados ambientais complexos. A experiência da coordenação e da equipe em pesquisas em ecossistemas costeiros do Paraná assegura capacidade técnica, operacional e administrativa para a implementação eficiente das atividades propostas, bem como para a entrega dos produtos técnicos e científicos previstos. A composição multidisciplinar da equipe viabiliza a integração entre diferentes linhas de evidência e fortalece a qualidade analítica, a inovação metodológica e a aplicabilidade dos resultados à gestão ambiental.

- Dra. Renata Ruaro – coordenadora da equipe técnica

CPF: 04976102998

E-mail: renataruaro@utfpr.edu.br

Link do currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/7128896177090746>

Titulação: Doutorado em Ecologia de ambientes aquáticos continentais

Instituição / País / Ano: Universidade Estadual de Maringá/ Brasil/ 2019

Área de especialização: Ciências ambientais

Instituição de vínculo: Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cargo: Professor de magistério superior (efetivo)

Vínculo (CNPJ): 75.101.873/0008-66

Função: Coordenador geral da equipe técnica

Experiência: Dra. Renata Ruaro é professora e pesquisadora no Departamento Acadêmico de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), com doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Sua atuação engloba avaliação e monitoramento da qualidade ambiental de ecossistemas aquáticos, com ênfase no desenvolvimento e aplicação de ferramentas de biomonitoramento e na análise integrada de múltiplos estressores ambientais em bacias hidrográficas costeiras. A pesquisadora é bolsista de produtividade em pesquisa (CNPq, nível 1C) e possui experiência em construção de índices bióticos e na condução de pesquisas voltadas à

síntese de conhecimento ecológico e sua tradução em instrumentos técnicos para apoio à gestão de recursos hídricos e à conservação de ecossistemas aquáticos. Sua produção científica inclui estudos sobre integridade biótica, monitoramento ecológico e avaliação de respostas de comunidades aquáticas a pressões antrópicas, bem como contribuições em debates sobre licenciamento ambiental em veículos internacionais, como a revista *Science*.

Atividades: Coordenação técnico-científica geral do projeto; definição do desenho amostral e seleção dos pontos de coleta; supervisão da execução das campanhas de campo e análises; coordenação da seleção e acompanhamento de bolsistas; definição e validação do gradiente de perturbação ambiental; desenvolvimento e consolidação do Índice Multimétrico de Integridade Ecológica; integração dos diferentes eixos do projeto; articulação institucional com órgãos gestores; organização e condução de oficinas técnicas e workshops para transferência de conhecimento e aplicação dos resultados à gestão ambiental. Formação e orientação de estudantes e bolsistas.

- Wanessa Algarte Ramsdorf

CPF: 02969732971

E-mail: wanessar@utfpr.edu.br

Link do currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/7831415947244973>

Titulação: Doutorado

Instituição / País / Ano: UFPR/ Brasil/ 2011

Área de especialização: Genética/ Ecotoxicologia

Instituição de vínculo: UTFPR

Vínculo (CNPJ): 75.101.873/0008-66

Cargo: Professora de magistério superior (efetivo)

Função: Colaborador

Experiência: Dra. Wanessa Algarte Ramsdorf Nagata é pesquisadora com formação em Ecotoxicologia e Ciências Ambientais, com doutorado pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Possui experiência consolidada em análises ecotoxicológicas de contaminantes em ambientes aquáticos e avaliação de biomarcadores biológicos em organismos expostos a diferentes classes de poluentes, incluindo pesticidas e compostos emergentes. Ao longo de sua carreira, coordenou e participou de projetos de pesquisa sobre respostas biológicas a estressores ambientais e toxicidade de substâncias químicas

em organismos aquáticos, contribuindo para a interpretação integrada de efeitos subletais e sistêmicos de contaminantes em níveis tróficos inferiores. Sua atuação também inclui supervisão de análises com bioensaios e desenvolvimento de procedimentos experimentais para avaliação de risco ecológico em ambientes aquáticos, bem como orientação técnica em trabalhos de mestrado e pesquisa científica na área ambiental. Essas experiências qualificam sua contribuição ao projeto, especialmente na condução de análises ecotoxicológicas, integração de linhas de evidência biológica e na avaliação de risco ecológico associada à poluição da água.

Atividades: Coordenação e supervisão das análises ecotoxicológicas, incluindo ensaios de toxicidade, biomarcadores de efeito e interpretação integrada das respostas biológicas frente à exposição a contaminantes. Atuação na estruturação e aplicação da avaliação de risco ecológico com base em múltiplas linhas de evidência, integrando dados ecotoxicológicos, químicos e biológicos para subsidiar o diagnóstico de impactos ambientais e a tomada de decisão em gestão ambiental.

- Júlio César Rodrigues de Azevedo

CPF: 51050714920

E-mail: jcrazevedo@utfpr.edu.br

Link do currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/8987771365126082>

Titulação: Doutorado

Instituição / País / Ano: Universidade Estadual de Maringá/Brasil/2005

Área de especialização: Química Ambiental

Instituição de vínculo: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR/Curitiba

Vínculo (CNPJ): 75.101.873/0008-66

Cargo: Professora de Ensino básico técnico e tecnológico (efetivo)

Função: Colaborador

Experiência: O Prof. Júlio César Rodrigues de Azevedo é docente e pesquisador com formação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais e experiência consolidada em química analítica aplicada a sistemas aquáticos. Sua trajetória inclui amostragens de água e sedimento em corpos hídrico continentais e costeiros e a condução de análises físico-químicas de parâmetros ambientais, bem como a identificação e quantificação de contaminantes convencionais e emergentes por técnicas instrumentais avançadas. O pesquisador também é Bolsista de Produtividade em Pesquisa (CNPq - Nível 2) e tem atuação em estudos sobre análise de contaminantes em biofilmes e sua implicação na

bioacumulação de poluentes em diferentes matrizes ambientais, incluindo água, sedimento e biota, com trabalhos publicados nessa temática e liderança de projetos de pesquisa relacionados à avaliação de contaminantes emergentes em ambientes aquáticos. Atividades: Planejamento e execução das campanhas de amostragem de água e sedimento; coordenação das análises físicas e químicas dessas matrizes; determinação e quantificação de contaminantes emergentes por meio de técnicas analíticas instrumentais; análise da contaminação em biofilmes; e integração dos dados químicos aos resultados biológicos do projeto, contribuindo para a caracterização dos gradientes de pressão antrópica e para a avaliação de impactos ambientais nos sistemas aquáticos estudados.

- Andre Andrian Padial

CPF: 00747977941

E-mail: aapadial@gmail.com

Link do currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/6957024195477387>

Titulação: Doutorado

Instituição / País / Ano: Universidade Federal de Goiás / Brasil / 2010

Área de especialização: Ecologia Aquática

Instituição de vínculo: Universidade Federal do Paraná

Cargo: Professor de Magistério Superior

Vínculo (CNPJ): 75.095.679/0001-49

Função: Colaborador

Experiência: André Andrian Padial é pesquisador com atuação consolidada em Ecologia, com ênfase em biodiversidade, ecologia de comunidades e macroecologia, especialmente em ecossistemas aquáticos continentais. Possui ampla experiência em estudos sobre padrões espaciais de diversidade, processos ecológicos que estruturam comunidades biológicas e efeitos de pressões antrópicas sobre a biodiversidade. Atua no desenvolvimento e aplicação de abordagens analíticas avançadas, incluindo modelagem ecológica, estatística multivariada e análise de diversidade taxonômica e funcional. É coordenador do projeto “Pesquisas Ecológicas de Longa Duração no Rio Guaraguaçu, patrimônio mundial da humanidade” (Processo nº 446015/2024-5), no âmbito do programa Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), voltado ao monitoramento ecológico de longo prazo e à compreensão dos processos que regulam a dinâmica e conservação dos ecossistemas do Rio Guaraguaçu. Também é bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1D. É atualmente representante institucional

no Comitê de Bacia Hidrográfica Litorânea, com atuação também na coordenação da Câmara Técnica de Instrumentos de Gestão do referido comitê.

Atividades: Delineamento conceitual e analítico do projeto; amostragens de macrófitas aquáticas; integração de dados ambientais e biológicos; análises estatísticas de dados e modelagem ecológica; aplicação de abordagens de diversidade taxonômica e funcional; formação de recursos humanos; mediação das ações no âmbito do comitê de bacia hidrográfica; e elaboração de artigos científicos.

- Cristovao Vicente Scapulatempo Fernandes

CPF: 59630523949

E-mail: cvs.fernandes@gmail.com

Link do currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/5646145895012774>

Titulação: Pós-doutorado

Instituição / País / Ano: University of Toronto/ Japão/ 2002

Área de especialização: Recursos hídricos, Qualidade de água

Instituição de vínculo: UFPR

Vínculo (CNPJ):75.095.679/0001-49

Cargo: Professor Titular

Função: Colaborador

Experiência: Cristóvão Vicente Scaulatempo Fernandes é pesquisador com formação em Engenharia Ambiental e experiência consolidada em modelagem hidrodinâmica e de qualidade da água em ecossistemas aquáticos. Sua atuação inclui o desenvolvimento e aplicação de modelos numéricos para simular circulação de massas d'água, transporte e dispersão de contaminantes, bem como para apoiar avaliações integradas de impacto ambiental. Possui experiência em integração de modelos físico-químicos com dados observacionais, interpretação de *outputs* de modelos e utilização de ferramentas computacionais geoespaciais para suporte à gestão ambiental. Sua produção inclui contribuições para estudos publicados e apresentações em eventos científicos sobre dinâmica hidrodinâmica, qualidade da água e avaliação de pressões antrópicas. Essa experiência técnica e analítica qualifica sua participação na modelagem integrada prevista no projeto, bem como na geração de artigos científicos e outras formas de divulgação técnico-científica. Também é bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1B.

Atividades: Auxílio na implementação e execução de modelagem hidrodinâmica e de qualidade da água para os ecossistemas aquáticos costeiros estudados; integração dos

modelos com dados de contaminantes e variáveis ambientais; interpretação de cenários de dispersão de poluentes e de resposta ecológica; e apoio à produção de artigos científicos e à divulgação dos resultados do projeto em eventos e meios técnicos e acadêmicos.

- Dr. Eduardo Vedor de Paula

CPF: 00681441992

E-mail: edugeo@ufpr.br

Link do currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/3566556553832046>

Titulação: Pós-doutorado

Instituição / País / Ano: UNCuyo / Argentina / 2018

Área de especialização: Planejamento territorial/ Geoprocessamento

Instituição de vínculo: UFPR

Vínculo (CNPJ): 75.095.679/0001-49

Cargo: Professor de magistério superior (efetivo)

Função: Colaborador

Experiência: Dr. Eduardo Vedor de Paula é Professor possui experiência consolidada em geoprocessamento aplicado a estudos ambientais e sociais, planejamento e gestão territorial, e na condução de projetos de pesquisa que integram análise ambiental e espacial de fenômenos naturais e antrópicos. É coordenador do Laboratório de Geoprocessamento e Estudos Ambientais (LAGEAMB-UFPR) e atua no Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos (PGSISCO) do Centro de Estudos do Mar (CEM-UFPR), além de integrar redes de observação territorial latino-americanas. Sua experiência inclui a aplicação de ferramentas geoespaciais para avaliação ambiental, modelagem hidrossedimentológica, análise de uso e ocupação do solo, e produção de informações técnicas voltadas ao apoio à decisão em planejamento e gestão ambiental. Tem ampla experiência em projetos sócio-ambientais no litoral do Paraná.

Atividades: Mapeamento da cobertura vegetal e análise do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Guaraguaçu; elaboração de mapas temáticos para caracterização das pressões antrópicas; levantamento, sistematização e análise de licenças ambientais e outorgas de uso de recursos hídricos; e espacialização dos resultados, integrando informações ambientais e normativas aos bancos de dados do projeto para subsidiar o diagnóstico ambiental e a avaliação integrada de impactos.

- Cynara de Lourdes da Nóbrega Cunha

CPF: 25400827268

E-mail: cynara@ufpr.br

Link do currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/8473977819453144>

Titulação: Doutorado

Instituição / País / Ano: COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro/ Brasil/ 2000.

Área de especialização: Engenharia costeira e recursos hídricos

Instituição de vínculo: UFPR

Vínculo (CNPJ):75.095.679/0001-49

Cargo: Professora de magistério superior (efetivo)

Função: Colaborador

Experiência: Cynara de Lourdes da Nóbrega Cunha possui ampla experiência em engenharia ambiental aplicada à modelagem de circulação hidrodinâmica, qualidade de água e controle de poluição em corpos hídricos naturais e construídos. Seus trabalhos envolvem a aplicação de modelos numéricos de circulação e qualidade de água para avaliar o transporte e dispersão de contaminantes, dinâmica de massas de água e processos hidrodinâmicos em ambientes aquáticos, com ênfase em sistemas costeiros e reservatórios. Desenvolveu e desenvolve pesquisas na região de estudo.

Atividades: Desenvolvimento e aplicação de modelos hidrológicos e de circulação hidrodinâmica, modelagem de qualidade da água e modelos de dispersão de contaminantes, integrando dados físicos, químicos e ambientais para simulação de cenários, análise de transporte de poluentes e apoio à avaliação integrada de impactos nos ecossistemas aquáticos estudados.

- Cláudia Costa Bonecker

CPF: 967.537.657-00

E-mail: bonecker@nupelia.uem.br

Link do currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4793096112812953>

Titulação: Doutora

Instituição / País / Ano: Universidade Estadual de Maringá, Brasil, 1998

Área de especialização: Ecologia de Comunidades

Instituição de vínculo: Universidade Estadual de Maringá

Vínculo (CNPJ): 79.151.312/0001-56

Cargo: Bióloga

Função: Colaborador

Experiência: Dra. Claudia Costa Bonecker é bióloga e pesquisadora com ampla experiência em Ecologia Aquática e Limnologia, com ênfase na ecologia do zooplâncton. Desenvolve pesquisas voltadas à estrutura e dinâmica de comunidades zooplancônicas, investigando padrões de diversidade taxonômica e funcional, organização trófica e respostas a gradientes ambientais e a perturbações antrópicas em ecossistemas aquáticos continentais e costeiros. Sua trajetória científica inclui contribuições relevantes para a compreensão da relação entre biodiversidade, funcionamento ecossistêmico e qualidade ambiental. Possui sólida produção científica na área, é Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq (Nível 1D). Possui ampla experiência na formação de recursos humanos em níveis de graduação e pós-graduação, além de atuação na coordenação e participação em projetos de pesquisa de grande porte. Desde 2023, é Coordenadora Geral do projeto NAPI Biodiversidade: Serviços Ecossistêmicos, financiado pela Fundação Araucária (PR), com foco na integração entre biodiversidade e provisão de serviços ecossistêmicos, fortalecendo a interface entre ciência e gestão ambiental.

Atividades: Responsável pela coordenação das atividades relacionadas à caracterização da comunidade zooplancônica, incluindo a definição de protocolos de amostragem específicos para zooplâncton, triagem e identificação taxonômica dos organismos, análise de atributos taxonômicos e funcionais e avaliação das respostas da comunidade zooplancônica a gradientes de perturbação ambiental e exposição a contaminantes. Contribuirá para a integração dos resultados ao Índice Multimétrico de Integridade Ecológica, à análise de serviços ecossistêmicos e à avaliação de impactos ambientais, além de orientar bolsistas vinculados ao eixo de biodiversidade zooplancônica.

- Heloise Garcia Knapik

CPF: 04525771950

E-mail: heloise.dhs@ufpr.br

Link do currículo lattes: <https://lattes.cnpq.br/9922667326146889>

Titulação: Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental

Instituição / País / Ano: UFPR, Brasil, 2014

Área de especialização: Recursos Hídricos

Instituição de vínculo: UFPR

Vínculo (CNPJ): 75.095.679/0001-49

Cargo: Professora do Magistério Superior

Função: Colaborador

Experiência: Engenheira Ambiental, professora da UFPR e pesquisadora na área de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental. Tem experiência no monitoramento e modelagem da qualidade da água em sistemas aquáticos, com ênfase na análise e caracterização da matéria orgânica em águas superficiais. Desenvolve pesquisas utilizando espectroscopia de fluorescência e outras técnicas analíticas para avaliação de processos biogeoquímicos e impactos antrópicos.

Atividades: Planejamento e execução de campanhas de amostragem de água e sedimento, para análises físico-químicas e de indicadores de contaminação fecal (coliformes). Integração e análise dos dados monitorados para a implementação de modelagem da qualidade da água, interpretação de cenários de dispersão de poluentes e apoio à produção e divulgação científica dos resultados do projeto.

- Gisele Carolina Marquardt

CPF: 009.471.899-71

E-mail: giselemarquardt@ufpr.br

Link do currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/1342903524822212>

Titulação: Doutorado

Instituição / País / Ano: Instituto de Botânica de São Paulo/Brasil/2017

Área de especialização: Taxonomia e ecologia de microalgas

Instituição de vínculo: Universidade Federal do Paraná

Vínculo (CNPJ): 75.095.679/0001-49

Cargo: Professora de Magistério Superior

Função: Colaborador

Experiência: Atua como pesquisadora com formação em Botânica e doutorado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, com atuação especializada em Ficologia, com ênfase em taxonomia, sistemática e ecologia de diatomáceas (Bacillariophyta). Sua trajetória científica integra estudos de biodiversidade algal, descrição de novas espécies e análises morfológicas aplicadas ao uso de microalgas como bioindicadoras em ecossistemas aquáticos continentais e costeiros. Possui experiência na caracterização de assembleias perifíticas e planctônicas e na análise da distribuição de diatomáceas ao longo de gradientes ambientais, articulando dados taxonômicos e ecológicos para interpretação de alterações ambientais. Seus estudos abrangem tanto monitoramento ecológico quanto aplicações em paleolimnologia, utilizando diatomáceas na reconstrução de mudanças

ambientais e na compreensão de processos ecológicos de longo prazo. Ao longo de sua produção científica, tem contribuído para o conhecimento da biodiversidade neotropical de diatomáceas por meio da descrição de novos táxons, revisões sistemáticas e estudos ecológicos aplicados. Sua experiência integra rigor taxonômico e aplicação de indicadores biológicos na avaliação da qualidade e integridade ecológica de ecossistemas aquáticos.

Atividades: Atuação no componente de fitoplâncton e biofilmes perifíticos no projeto, incluindo o delineamento amostral, processamento e identificação taxonômica das assembleias algais. Atuará na caracterização estrutural e ecológica das comunidades e contribuirá para a análise integrada das respostas biológicas aos gradientes de contaminação, interpretação ecológica dos resultados e elaboração de publicações científicas e relatórios técnicos voltados ao apoio à gestão ambiental.

- Eliezer de Oliveira da Conceição

CPF: 07880250905

E-mail: eliezer.conceicao@unespar.edu.br

Link do currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9379124701637195>

Titulação: Doutorado em Ambientes Aquáticos Continentais

Instituição / País / Ano: Universidade Estadual de Maringá / Brasil / 2021

Área de especialização: Ciências

Instituição de vínculo: Universidade Estadual do Paraná - campus Paranaguá

Vínculo (CNPJ): 05.012.896/0001-42

Cargo : Professor de magistério superior (efetivo)

Função: Colaborador

Experiência: Professor na Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), campus de Paranaguá, e do Programa de Pós-Graduação em Ambientes Litorâneos e Insulares (PALI). Tenho atuação especializada em taxonomia e ecologia de microcrustáceos (Ostracoda). Desenvolvo pesquisas integrando a biodiversidade taxonômica e funcional a gradientes de pressão antrópica e mudanças climáticas, com aplicação em modelagem de nicho ecológico, conservação e diagnóstico ambiental em ecossistemas aquáticos. Possui vasta experiência em delineamento amostral, identificação taxonômica refinada de fauna associada a macrófitas, análises multivariadas e uso de bioindicadores para a avaliação de serviços ecossistêmicos.

Atividades: Responsável pelo monitoramento e análise da comunidade de ostrácodes perifíticos, abrangendo desde o delineamento amostral em diferentes macrófitas aquáticas até a triagem e identificação taxonômica. Atuará na caracterização dos atributos funcionais e estruturais das assembleias para avaliar a saúde do ecossistema. Participará diretamente na identificação de métricas ecológicas associadas aos ostrácodes para a composição de índices de integridade biótica, contribuindo na avaliação de gradientes de contaminação e na quantificação de serviços ecossistêmicos, como o suporte à cadeia trófica e a ciclagem de nutrientes em ambientes costeiros.

- Mayara Pereira Neves

CPF: 065.776.499-01

E-mail: mayara.neves@ufpr.br

Link do currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/0235167285224874>

Titulação: Doutorado em Biologia Animal

Instituição / País / Ano: UFRGS/Brasil/2020

Área de especialização: Ictiologia

Instituição de vínculo: UFPR

Vínculo (CNPJ): 75.095.679/0001-49

Cargo: Professor do Magistério Superior

Função: Colaborador

Experiência: Professora do Departamento de Zoologia da Universidade Federal do Paraná, com atuação em ecologia de peixes, ecomorfologia e avaliação de integridade ecológica de ecossistemas aquáticos. Desenvolve pesquisas integrando biodiversidade, estrutura funcional de assembleias e gradientes ambientais, com aplicação em diagnóstico ambiental, monitoramento ecológico e interpretação de impactos antrópicos. Possui experiência em delineamento amostral em ambientes naturais, análises multivariadas, métricas de diversidade e funcionalidade, e construção e interpretação de indicadores biológicos. Atua na orientação de estudantes de graduação e pós-graduação e na coordenação de projetos científicos envolvendo levantamento e análise de comunidades aquáticas.

Atividades: Responsável pelo módulo de ictiofauna, incluindo o delineamento e padronização da amostragem, identificação taxonômica, análise da estrutura das assembleias e caracterização funcional e trófica das espécies. Atuará no desenvolvimento e teste de métricas de integridade biótica baseadas em peixes e na integração dessas

métricas ao índice multimétrico de condição ecológica. Participará da interpretação ecológica dos gradientes de impacto, definição de condições de referência e validação dos indicadores aplicados ao diagnóstico ambiental e ao licenciamento.

4. CRONOGRAMA FINANCEIRO

| Rubrica | 1-6 meses | 7-12 meses | 13-18 meses | 19-24 meses | 25-30 meses | 31-36 meses | Total (R\$) |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Bens de capital | 21.000,00 | - | - | - | - | - | 21.000,00 |
| Diárias + Passagens | 20.000,00 | 45.000,00 | 45.000,00 | 30.000,00 | 15.000,00 | 15.000,00 | 170.000,00 |
| Custos recorrentes | 20.000,00 | 45.000,00 | 35.000,00 | 25.000,00 | 25.000,00 | 10.000,00 | 160.000,00 |
| Serviços terceiros | - | 5.000,00 | 5.000,00 | 5.000,00 | - | - | 15.000,00 |
| Bolsas | 90.000,00 | 120.000,00 | 140.000,00 | 140.000,00 | 120.000,00 | 74.720,00 | 684.720,00 |
| Total período | 151.000,00 | 215.000,00 | 225.000,00 | 200.000,00 | 160.000,00 | 99.720,00 | 1.050.720,00 |

5. ORÇAMENTO, DESEMBOLSO E CONTRAPARTIDA

Para a execução do projeto serão necessários recursos para Diárias, Passagens, Bens de capital como equipamentos; Custos recorrentes para aquisição de material de consumo como vidrarias, reagentes e materiais para auxiliar na coleta, processamento e análise das amostras, serviços de empresas terceirizadas, e custos administrativos.

| Rubrica | Valor (R\$) |
|-----------------------|----------------------------------|
| Diárias e Passagens | 170.000,00 |
| Bens de Capital | 21.000,00 |
| Custos Recorrentes | 160.000,00 |
| Serviços de Terceiros | 15.000,00 |
| Bolsas | 684.720,00 |
| | |
| Total Geral | R\$ 1.050.720,00 + FUNTEF |

Quadro 1 – Distribuição dos recursos solicitados por rubrica orçamentária

5.1 Custos com diárias e passagens

Estima-se a necessidade de aproximadamente 400 diárias para execução do projeto, considerando que as campanhas de campo envolverão diferentes especialistas e demandarão períodos prolongados de amostragem, incluindo atividades de reconhecimento das áreas de estudo, marcação de pontos amostrais e realização de coletas piloto. Valores de diárias também serão utilizados para realização de workshops técnico-científicos com órgãos gestores e comunidade. Considerando o valor atual de R\$ 380,00 para cada diária considerando o valor atual pago pelo CNPq, estima-se uma despesa de cerca de R\$ 152.000,00.

Estima-se custo com passagens para reuniões técnicas para alinhamento e discussões dos resultados bem como workshops técnico-científicos integrando órgãos gestores, cientistas e equipe técnica. Valor estimado de R\$ 18.000,00.

5.2 Bens de capital

Dentre as solicitações de bens de capital, propõe-se a aquisição de mais um equipamento Medidor Multiparâmetro Portátil Parâmetros Hanna HI 9829N. Embora equipamento semelhante (mesmo modelo e marca) já faça parte da infraestrutura

disponível da equipe, solicita-se nova aquisição para que possam ser criados mais de um grupo de trabalho durante as coletas em campo. Estima-se um custo de cerca de R\$ 18.000,00 para compra deste equipamento.

Além disso, pretende-se adquirir mais um pHmetro de bancada com custo de cerca de R\$ 3.000,00.

5.3 Custos recorrentes

Em relação aos custos recorrentes, estimam-se despesas associadas à execução das atividades de campo e laboratoriais do projeto, incluindo combustível, manutenção de equipamentos, aquisição de vidrarias, reagentes e materiais utilizados na coleta, processamento e análise das amostras. Entre os insumos previstos estão incluídos, por exemplo, reagentes de grau PA para análises de nutrientes, solventes e padrões analíticos de grau HPLC, cartuchos de extração para quantificação de contaminantes, além de nitrogênio líquido, gelo, formol e álcool para preservação de amostras biológicas. Também estão incluídos materiais de campo, como redes de amostragem, frascos de plástico e vidro para armazenamento de amostras e outros insumos necessários às campanhas de coleta. Nesse grupo também se inserem despesas com combustível para deslocamento da equipe e operação de embarcações durante as atividades de campo. Estima-se um custo total aproximado de R\$160.000,00 para essa rubrica.

5.4 Serviços de terceiros

Prevê-se a contratação de empresa especializada em biotecnologia para realização de análises microbiológicas, com vistas à extração de DNA total e sequenciamento do gene 16S rRNA para caracterização da comunidade bacteriana associada aos biofilmes. Estima-se um custo de R\$15.000,00 em serviços de terceiros. A contratação externa se justifica pela necessidade de infraestrutura especializada para sequenciamento e análise bioinformática.

5.6 Pagamento de bolsas

A equipe técnica do projeto é composta por docentes permanentes de universidades públicas, que atuarão na coordenação científica e supervisão técnica das atividades, sem remuneração adicional. Considerando a complexidade e a amplitude das ações previstas, que incluem campanhas de campo sistemáticas, análises laboratoriais, modelagem ambiental, avaliação de risco ecológico, integração multimétrica e levantamento de processos de licenciamento, torna-se necessária a ampliação da capacidade técnico-operacional por meio da concessão de bolsas.

Destaca-se ainda que o projeto foi estruturado de forma a otimizar o uso de infraestrutura científica já disponível nas instituições participantes, incluindo laboratórios especializados, equipamentos analíticos de grande porte, infraestrutura computacional e embarcações. A proposta prioriza a alocação de recursos em bolsas de pesquisa, permitindo ampliar a capacidade técnico-operacional da equipe e assegurar a execução integrada das atividades de campo, laboratoriais e analíticas previstas, sem a necessidade de investimentos elevados em aquisição de equipamentos. Essa estratégia contribui para maximizar a eficiência do uso dos recursos financeiros solicitados e fortalecer simultaneamente a formação de recursos humanos qualificados.

A concessão de bolsas no âmbito deste projeto destina-se exclusivamente ao apoio financeiro a estudantes e pesquisadores diretamente vinculados às atividades técnico-científicas previstas, em conformidade com a Política de Bolsas do FUNBIO. As bolsas não possuem caráter remuneratório, mas configuram instrumento de fomento à formação e qualificação de recursos humanos envolvidos na execução das metas e entregas da proposta.

Os bolsistas atuarão no planejamento e execução de campanhas de campo, processamento e análise de amostras, organização e curadoria de banco de dados georreferenciado, análises estatísticas e espaciais, desenvolvimento e validação do índice multimétrico, além da elaboração de relatórios técnicos e produtos aplicados à gestão ambiental. Dessa forma, as bolsas estão diretamente vinculadas à geração dos resultados científicos e técnicos previstos. Considerando que o projeto envolve diferentes áreas de pesquisa (química ambiental, ecotoxicologia, biodiversidade aquática, modelagem ambiental e integração multimétrica), a execução das atividades requer equipe multidisciplinar com dedicação ao longo da implementação da proposta.

Adicionalmente, a estratégia contribuirá para a formação de profissionais especializados em avaliação integrada de impactos ambientais em ecossistemas costeiros,

fortalecendo capacidades locais e promovendo a continuidade das ações após o encerramento do projeto.

Assim, serão solicitadas bolsas em diferentes modalidades para dar suporte a execução do projeto (Quadro 2).

| Descrição | Finalidade | Quantidade | Valor unitário (R\$) | Duração (meses) | Valor Total (R\$) |
|---------------|--|------------|----------------------|-----------------|-------------------|
| Bolsa ITI - A | Auxiliar nas análises de contaminantes e água e sedimento | 01 | 700,00 | 24 | 16.800,00 |
| Bolsa ITI - A | Auxiliar na caracterização da fauna de macroinvertebrados | 02 | 700,00 | 24 | 33.600,00 |
| Bolsa ITI - A | Auxiliar na caracterização de fitoplâncton | 01 | 700,00 | 24 | 16.800,00 |
| Bolsa ITI - A | Auxiliar na caracterização de zooplâncton | 01 | 700,00 | 24 | 16.800,00 |
| Bolsa ITI - A | Auxiliar nas análises de ecotoxicidade | 01 | 700,00 | 24 | 16.800,00 |
| Bolsa ITI - A | Auxiliar na caracterização da fauna de ostracodes | 01 | 700,00 | 24 | 16.800,00 |
| Bolsa ITI - A | Auxiliar na caracterização da fauna de peixes | 01 | 700,00 | 24 | 16.800,00 |
| Bolsa ITI - A | Auxiliar na caracterização da flora de macrófitas aquáticas | 01 | 700,00 | 24 | 16.800,00 |
| Bolsa DTI- B | Auxiliar no levantamento das licenças e outorgas e análise/espacialização/correlação dos dados | 01 | 3.900,00 | 18 | 70.200,00 |
| Bolsa SET-I | Auxiliar na análise de dados geoespaciais | 01 | 1.040,00 | 18 | 18.720,00 |
| Bolsa DTI- B | Auxiliar na modelagem de dispersão de contaminantes | 01 | 3.900,00 | 18 | 70.200,00 |
| Bolsa DTI- B | Levantamento de serviços ecossistêmicos e análise integrada de impactos ambientais. | 01 | 3.900,00 | 24 | 93.600,00 |

| | | | | | |
|-------------|--|----|----------|----|------------|
| Bolsa SET-C | Auxiliar na integração de informações para gestão e análises de dados (Auxiliar na integração multimétrica e construção do Índice de Integridade Ecológica, realização de análises estatísticas multivariadas e modelagem ecológica integrada, bem como na avaliação de risco ecológico) | 02 | 5.850,00 | 24 | 280.800,00 |
| Total | | | | | 684.720,00 |

Quadro 2- Bolsas solicitadas para execução da presente proposta

3. CRONOGRAMA FÍSICO

| Meta / Atividade | Período (mês de execução) | | | | | | | |
|--|---------------------------|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1-3 | 4-6 | 7-12 | 13-18 | 19-24 | 25-30 | 31-34 | 35-36 |
| Definição e georreferenciamento dos pontos de amostragem | | | | | | | | |
| Aquisição de bens e materiais de consumo | | | | | | | | |
| Levantamento de licenças e outorgas | | | | | | | | |
| Mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal | | | | | | | | |
| Campanhas amostrais sazonais (4 campanhas) | | | | | | | | |
| Análises de contaminantes (água e sedimento) | | | | | | | | |
| Modelagem de dispersão de contaminantes | | | | | | | | |
| Caracterização das comunidades biológicas | | | | | | | | |
| Análise da bioacumulação e transferência trófica | | | | | | | | |
| Ensaio ecotoxicológicos e biomarcadores | | | | | | | | |
| Avaliação de risco ecológico | | | | | | | | |
| Teste e validação de métricas ecológicas | | | | | | | | |
| Construção e aplicação do Índice Multimétrico (MMI) | | | | | | | | |
| Análise comparativa e integrada dos dados | | | | | | | | |
| Identificação e espacialização de áreas críticas | | | | | | | | |
| Elaboração do protocolo técnico (versão preliminar) | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Oficinas técnicas com órgãos ambientais | | | | | | | | |
| Consolidação do protocolo | | | | | | | | |
| Publicações científicas e produtos técnicos | | | | | | | | |
| Relatório final e síntese executiva | | | | | | | | |

5.3. CONTRAPARTIDA INSTITUCIONAL – INFRAESTRUTURA, EQUIPE TÉCNICA E APOIO OPERACIONAL

A presente proposta conta com contrapartida institucional estruturada e efetiva, baseada na disponibilização de infraestrutura laboratorial, equipamentos de médio e grande porte, apoio técnico especializado e suporte administrativo, provenientes de uma equipe interinstitucional composta por pesquisadores vinculados à diferentes Universidades, principalmente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e à Universidade Federal do Paraná (UFPR).

A equipe técnica é formada por docentes permanentes de Programas de Pós-Graduação consolidados, com experiência comprovada em ecologia aquática, química ambiental, ecotoxicologia, modelagem espacial, biodiversidade e gestão ambiental. Essa composição multidisciplinar e interinstitucional fortalece a capacidade analítica, interpretativa e aplicada do projeto, integrando competências complementares entre as instituições.

Na UTFPR -Câmpus Curitiba, as atividades relacionadas às análises químicas, contaminantes emergentes, metais e ensaios ecotoxicológicos serão realizadas em laboratórios plenamente equipados e operacionais, vinculados ao Departamento de Química e Biologia e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Destacam-se: o Núcleo Interdisciplinar de Pesquisas em Tecnologias Ambientais (NIPTA), com cromatografia gasosa (GC-FID, GC-MS/MS) e cromatografia líquida (LC-DAD e LC preparativa); o Laboratório de Estudos Avançados em Química Ambiental (LEAQUA), equipado com LC-MS/MS (triplo quadrupolo), espectrofotometria UV-Vis, sistemas de purificação de água, blocos digestores e infraestrutura completa para preparo de amostras; Sala de Equipamentos Fotométricos, com ICP-OES, absorção atômica e micro-ondas para digestão assistida; Laboratório de Ecotoxicologia (ECOTOX), com estrutura para cultivo de organismos-teste e realização de bioensaios; o Laboratório de Contaminantes Ambientais e Laboratório de Solos (LASOL), que oferecem suporte às análises físico-químicas e sedimentológicas; e o Laboratório de Biomonitoramento e Ecologia Aplicada que conta com microscópios e estereomicroscópios para processamento e identificação de organismos aquáticos.

Na UFPR, o projeto contará com infraestrutura voltada à identificação taxonômica, triagem de material biológico, análises ecológicas e apoio estatístico e

geoespacial. A instituição também disponibilizará suporte para curadoria e depósito de exemplares testemunho em coleção científica regional, assegurando rastreabilidade e legado científico dos dados gerados. Além disso, Adicionalmente, como parte da contrapartida institucional, serão disponibilizadas embarcações da UFPR para apoio às atividades de campo, incluindo: Dois barcos de alumínio de 6 metros; três motores de popa 15 HP; um caiaque duplo; um motor elétrico para caiaque. Essa infraestrutura logística é essencial para a realização das coletas em ambientes estuarinos e fluviais costeiros, especialmente em áreas de difícil acesso e sob influência de maré, garantindo segurança da equipe, padronização amostral e viabilidade operacional do projeto.

No âmbito da infraestrutura computacional e de processamento de dados, a UFPR disponibilizará, como contrapartida institucional, os seguintes equipamentos de alto desempenho, Servidor PowerEdge R750 e Estação de trabalho Precision T3660. Essa infraestrutura computacional será dedicada ao processamento, armazenamento e modelagem de dados ambientais e espaciais. Esses equipamentos serão fundamentais para: processamento de grandes bases de dados ambientais e biológicos; Modelagem espacial e análises geoespaciais; e Estruturação de banco de dados georreferenciado de longo prazo. Além disso, na UFPR, o Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental (LAGEAMB) contribuirá com infraestrutura técnica e expertise para formação e consolidação da base de dados, incluindo análises espaciais, integração de dados de uso e ocupação do solo, modelagem de dispersão de contaminantes e construção de camadas temáticas aplicáveis ao licenciamento ambiental.

A infraestrutura instalada disponibilizada ao projeto corresponde a valor patrimonial estimado superior a R\$ 5 milhões (quadro 3). Para fins de atendimento ao edital, considera-se como contrapartida financeira apenas a fração operacional estimada em R\$ 300.000,00, correspondente aos custos de uso, manutenção, insumos e suporte técnico durante a execução do projeto.

| Equipamento | Valor estimado (R\$) |
|------------------------------|-----------------------------|
| Servidor PowerEdge R750 | 150.200,00 |
| Estação Precision T3660 | 24.630,00 |
| LC-MS/MS (Triplo Quadrupolo) | 1.800.000,00 |

| | |
|-----------------------------|--------------|
| GC-MS/MS | 1.200.000,00 |
| ICP-OES | 650.000,00 |
| Sistema de Absorção Atômica | 200.000,00 |
| Digestor por micro-ondas | 150.000,00 |
| 5 estereomicroscópios | 50.000,00 |
| LC-DAD | 450.000,00 |
| GC-FID | 350.000,00 |
| 2 barcos alumínio 6 m | 20.000,00 |
| 3 motores 15 HP | 35.000,00 |
| Subtotal | 5.029.830,00 |

Quadro 3 – Estimativa de valor patrimonial da infraestrutura e equipamentos disponibilizados como contrapartida institucional

6. INSTITUIÇÃO PROPONENTE

Nome: FUNTEF - Fundação de Apoio à Educação, Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR
CNPJ 02.032.297/0001-00

Endereço: Av. Silva Jardim, 775 - Bloco V4 - Reboças 80230-000 - Curitiba - PR