

CARAVELAS ECOLÓGICAS COMO SUBSTRATO PARA FORMAÇÃO DE BIOFILMES PERIFÍTICOS: POTENCIAL PARA BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Maria Clara Segaspini Golombieski - mariasgolombieski@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - IPH

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Bairro Agronomia,
91501-970, Porto Alegre – RS

Gustavo Stolzenberg Colares - gustavoscolares@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - IPH

Bruno Guides Libardoni - libardoni@infinitomare.com

Infinito Mare

Daniel Tremmel Maia - tremmel@infinitomare.com

Infinito Mare

Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues - luciarrodrigues@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH

Resumo: A degradação de corpos hídricos urbanos demanda tecnologias capazes de integrar monitoramento ambiental, restauração ecológica e processos de biorremediação. Nesse contexto, as Caravelas Ecológicas constituem estruturas flutuantes concebidas como Soluções Baseadas na Natureza, com superfícies submersas que favorecem a fixação de biofilmes algais e microbianos. Este trabalho avaliou, de forma preliminar, a colonização algal associada às Caravelas instaladas no Arroio Dilúvio e no Parque Pontal (Lago Guaíba), em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, utilizando dados de presença e ausência de gêneros. O biofilme aderido à malha das estruturas foi coletado por raspagem, preservado e analisado em microscópio óptico invertido. A identificação foi realizada com base em registros fotográficos, mensurações celulares e bibliografia taxonômica especializada. Foram registrados 26 gêneros algais, sendo 26 em P1 e 23 em P2, com 23 gêneros compartilhados entre os pontos. A riqueza aumentou ao longo das campanhas, passando de 12 para 19 gêneros em P1 e de 13 para 19 em P2. Gêneros como *Nitzschia*, *Navicula*, *Cymbella*, *Pinnularia*, *Pseudanabaena* e *Phormidium* ocorreram de forma recorrente, indicando estabelecimento de uma comunidade aderida persistente. A predominância de diatomáceas e a presença de cianobactérias filamentosas reforçam a

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

importância da taxonomia algal como ferramenta de biomonitoramento. Os resultados indicam que as Caravelas funcionaram como substrato para colonização por algas nativas que atuam em processos naturais de biorremediação, enquanto o estudo taxonômico da sua comunidade apresenta potencial ferramenta de monitoramento ecológico em ecossistemas urbanos de água doce.

Palavras-chave: biofilme algal; biorremediação; diatomáceas; estrutura ecológica; taxonomia.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

ECOLOGICAL CARAVELAS AS A SUBSTRATE FOR PERIPHYTIC BIOFILM FORMATION: POTENTIAL FOR WATER QUALITY BIOMONITORING

Abstract: The degradation of urban water bodies requires technologies capable of integrating environmental monitoring, ecological restoration, and bioremediation processes. In this context, Ecological Caravels are floating structures designed as Nature-Based Solutions, with submerged surfaces that favor the attachment of algal and microbial biofilms. This study preliminarily evaluated the algal colonization associated with Caravels installed in Arroio Dilúvio and Parque Pontal, in Lake Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil, using genus-level presence and absence data. The biofilm adhered to the mesh of the structures was collected by scraping, preserved, and analyzed using an inverted optical microscope. Identification was performed based on photographic records, cell measurements, and specialized taxonomic literature. A total of 26 algal genera were recorded, with 26 in P1 and 23 in P2, including 23 genera shared between the sites. Richness increased over the sampling campaigns, from 12 to 19 genera in P1 and from 13 to 19 in P2. Genera such as *Nitzschia*, *Navicula*, *Cymbella*, *Pinnularia*, *Pseudanabaena*, and *Phormidium* occurred recurrently, indicating the establishment of a persistent attached community. The predominance of diatoms and the presence of filamentous cyanobacteria reinforce the importance of algal taxonomy as a biomonitoring tool. The results indicate that the Caravels functioned as substrates for colonization by native algae involved in natural bioremediation processes, while the taxonomic study of their community represents a potential tool for ecological monitoring in urban freshwater ecosystems.

Keywords: algal biofilm; bioremediation; diatoms; ecological structure; taxonomy.

1. INTRODUÇÃO

A degradação da qualidade da água em ecossistemas urbanos representa um dos principais desafios ambientais contemporâneos, especialmente em regiões submetidas ao lançamento de efluentes domésticos, drenagem pluvial, carreamento de nutrientes, contaminação por metais e ocupação intensiva das margens. Em corpos hídricos urbanos, a combinação entre carga orgânica, enriquecimento por nitrogênio e fósforo, redução do oxigênio dissolvido e perda de biodiversidade pode comprometer a capacidade de autodepuração e intensificar processos de eutrofização (REID et al., 2019; SILVA et al., 2017; FERREIRA et al., 2022).

O Lago Guaíba e o Arroio Dilúvio constituem sistemas de elevada relevância ecológica, social e econômica para Porto Alegre. O Guaíba é um importante manancial de abastecimento e receptor de contribuições de diferentes bacias urbanizadas, enquanto o Arroio Dilúvio atua como um dos principais canais de drenagem urbana da cidade, transportando matéria orgânica, nutrientes, sedimentos

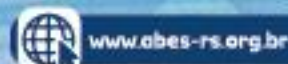
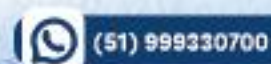
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



e contaminantes para o lago. Esse cenário reforça a necessidade de estratégias inovadoras de monitoramento e recuperação ambiental, sobretudo aquelas que atuem diretamente no corpo hídrico e sejam compatíveis com a complexidade de ambientes urbanos (INFINITO MARE, 2026; GODOI, 2008; SOUZA; ARRUDA, 2020).

As Soluções Baseadas na Natureza têm sido propostas como alternativas para enfrentar problemas ambientais por meio do uso de processos ecológicos, contribuindo para a restauração, conservação e resiliência dos ecossistemas. Entre essas estratégias, destaca-se a utilização de biofilmes algais e microbianos em tecnologias de tratamento e monitoramento de águas. Biofilmes microalgais apresentam vantagens em relação a sistemas de cultivo suspenso, pois permitem maior concentração de biomassa aderida, maior facilidade de separação da biomassa e potencial aplicação em remoção de nutrientes e contaminantes, especialmente em sistemas associados ao tratamento de águas residuárias e ambientes eutrofizados (MORENO OSORIO et al., 2021; MOHSENPOUR et al., 2021; BLIFERNEZ-KLASSEN et al., 2023).

Nesse contexto, as Caravelas Ecológicas foram desenvolvidas como estruturas flutuantes voltadas ao estímulo da colonização biológica, à formação de biofilmes e ao biomonitoramento ambiental. A estrutura dispõe de superfícies submersas que permanecem em contato com a coluna d'água, funcionando como substrato artificial para a fixação de microalgas, cianobactérias e outros organismos associados ao perifíton. A colonização desses substratos permite avaliar a resposta da comunidade algal às condições ambientais locais e, ao mesmo tempo, representa uma etapa fundamental para o funcionamento biológico da tecnologia (INFINITO MARE, 2026; ALVES et al., 2020; MORENO OSORIO et al., 2019).

A taxonomia algal é especialmente relevante nesse tipo de avaliação, pois a simples presença ou ausência de determinados gêneros pode revelar informações sobre qualidade da água, enriquecimento nutricional, disponibilidade de substrato, estabilidade hidrodinâmica e grau de perturbação ambiental. Diatomáceas, por exemplo, são amplamente utilizadas em estudos de biomonitoramento por responderem de forma sensível às variáveis ambientais e por integrarem os efeitos das condições locais ao longo do tempo. Gêneros como *Nitzschia* e *Navicula* são frequentemente associados a ambientes enriquecidos por nutrientes e com condições de maior carga orgânica, sendo importantes para a interpretação ecológica de ambientes urbanos impactados (GODOI, 2008; VAN DAM; MERTENS; SINKELDAM, 1994; LOBO et al., 2010).

Além disso, a identificação taxonômica dos organismos presentes no biofilme é uma etapa essencial para estudos futuros de bioacumulação. Diferentes grupos algais podem apresentar capacidades distintas de interação com nutrientes, metais, hidrocarbonetos, compostos orgânicos e contaminantes emergentes. Assim, conhecer quais gêneros colonizam a Caravela permite selecionar organismos de interesse para análises posteriores de concentração de contaminantes na biomassa, sem inferir, nesta etapa, remoção efetiva ou bioacumulação comprovada apenas com dados de presença e ausência (DUARTE et al., 2001; INFINITO MARE, 2026; BLIFERNEZ-KLASSEN et al., 2023).

Dessa forma, este trabalho propõe uma avaliação preliminar da colonização algal associada às Caravelas Ecológicas, com foco na presença e ausência de gêneros, riqueza taxonômica, recorrência de táxons e potencial da estrutura como substrato para biofilme. A abordagem busca demonstrar a funcionalidade biológica da tecnologia e discutir a importância da taxonomia algal para o

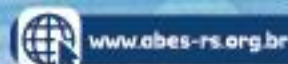
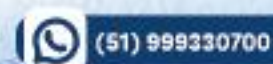
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



biomonitoramento da qualidade da água em ambientes urbanos (ALENCAR et al., 2019; FEITOSA; MOURA; SOUZA, 2015; FERREIRA et al., 2022).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a colonização algal associada às Caravelas Ecológicas instaladas no Arroio Dilúvio e no Parque Pontal, em Porto Alegre, Rio Grande do Sul e seu potencial de biomonitoramento da qualidade da água.

2.2. Objetivos específicos

Identificar os gêneros algais presentes nos biofilmes aderidos às estruturas submersas das Caravelas Ecológicas.

Comparar a riqueza de gêneros entre os pontos localizados no Arroio Dilúvio e no Parque Pontal.

Avaliar a recorrência dos gêneros ao longo das campanhas de coleta, distinguindo táxons constantes, compartilhados e exclusivos.

Discutir o papel das algas identificadas na estruturação inicial do biofilme.

Relacionar a composição taxonômica observada ao potencial da Caravela como substrato para colonização biológica, biomonitoramento e estudos futuros de bioacumulação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo e tecnologia avaliada

O estudo foi realizado em duas Caravelas Ecológicas instaladas em corpos hídricos urbanos de Porto Alegre, Rio Grande do Sul (Figura 1). O ponto P1 correspondeu à estrutura instalada no Arroio Dilúvio, sistema lótico urbano com elevada influência antrópica. O ponto P2 correspondeu à estrutura localizada no Parque Pontal, na margem do Lago Guaíba, região influenciada pela dinâmica lacustre e por contribuições urbanas da porção norte do lago (INFINITO MARE, 2026).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

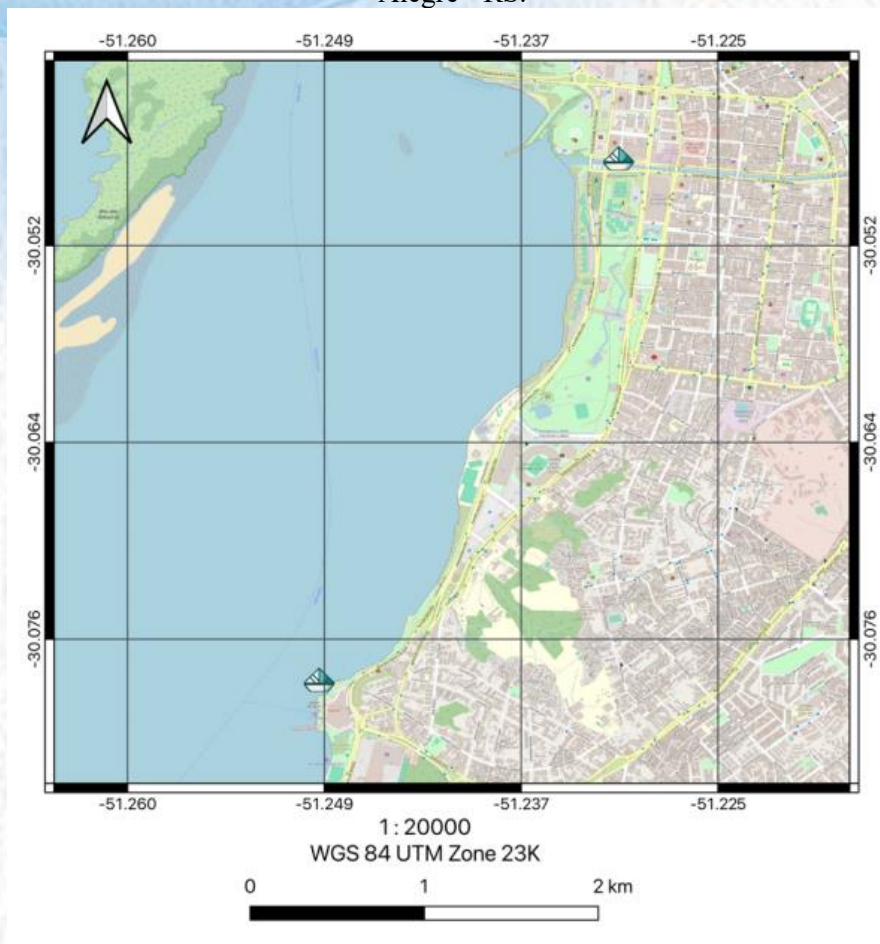


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 1 - Localização da instalação das Caravelas no Arroio Dilúvio e no Lago Guaíba, em Porto Alegre - RS.



Fonte: INFINITO MARE

As Caravelas Ecológicas são estruturas flutuantes (Figura 2) concebidas como Soluções Baseadas na Natureza. Sua malha submersa atua como substrato artificial para a colonização de organismos fotossintetizantes e microrganismos associados, favorecendo a formação de biofilmes naturais. A lógica ecológica da tecnologia está baseada na fixação de biomassa algal e microbiana, na interação entre organismos autotróficos e heterotróficos e no acompanhamento da comunidade formada ao longo do tempo (INFINITO MARE, 2026; MORENO OSORIO et al., 2021; BLIFERNEZ-KLASSEN et al., 2023).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



PUCRS



(51) 999330700

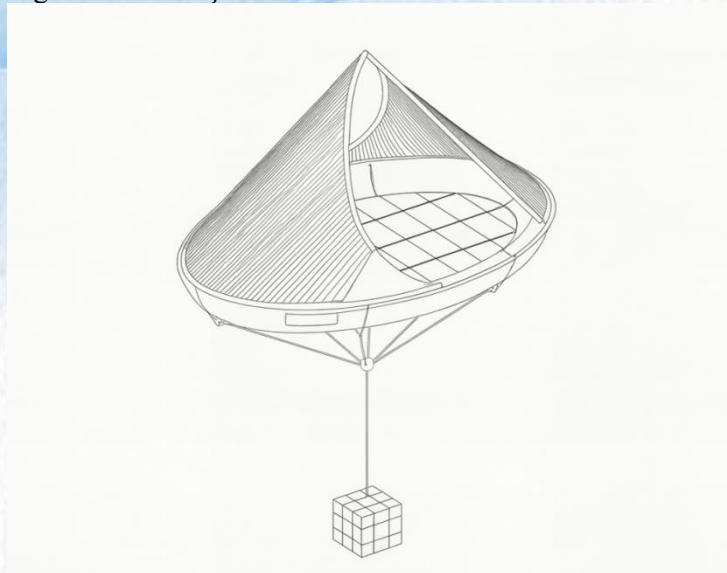


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 2 - Ilustração da caravela e do seu sistema de fundeio.



Fonte: INFINITO MARE

3.2. Coleta do biofilme

As amostras de biofilme foram obtidas por raspagem da malha submersa das Caravelas, utilizando espátula esterilizada. O material coletado foi acondicionado em frascos apropriados e preservado para posterior análise qualitativa e quantitativa da comunidade algal. Para a proposta deste trabalho, foram utilizados apenas os dados qualitativos de presença e ausência dos gêneros, sem considerar a abundância celular ou densidade de indivíduos (ALVES et al., 2020).

3.3. Processamento das amostras e análise microscópica

As amostras foram analisadas em microscópio óptico invertido. Para a preparação, foram utilizadas câmaras de sedimentação contendo 2 mL de amostra diluída. As diluições foram realizadas conforme a necessidade de visualização e contagem dos organismos. As câmaras permaneceram em sedimentação por 2 horas, em recipiente escuro e úmido, com o objetivo de reduzir a formação de bolhas e favorecer a deposição do material (UTERMÖHL, 1958; CETESB, 2005).

A observação dos campos foi realizada em aumento de 40 vezes para registro da comunidade e posterior seleção dos organismos de interesse. Cada campo de visão foi fotografado, e os organismos receberam códigos numéricos para posterior identificação. Para a identificação taxonômica, as algas foram observadas em aumento de 100 vezes, com óleo de imersão, sendo registradas imagens

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

individuais. As medidas celulares foram realizadas com apoio do *software* ImageJ, a partir da escala do microscópio.

3.4. Identificação taxonômica e tratamento dos dados

A identificação dos organismos foi realizada com base em características morfológicas, registros fotográficos, medidas celulares e bibliografia taxonômica especializada, incluindo trabalhos sobre o sistema Guaíba e seus rios formadores, além de floras, atlas e inventários regionais e nacionais de algas continentais (BICUDO; MENEZES, 2006).

Para a análise de presença e ausência, morfotipos pertencentes ao mesmo gênero foram agrupados. Assim, registros como *Nitzschia palea*, *Nitzschia* sp. 1 e *Nitzschia* sp. 2 foram considerados como ocorrência do gênero *Nitzschia*. A partir dessa organização, foram calculados: riqueza de gêneros por amostra; riqueza total por ponto; gêneros compartilhados entre P1 e P2; gêneros exclusivos e frequência de ocorrência dos gêneros ao longo das campanhas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Colonização algal das Caravelas Ecológicas

Os resultados indicaram a formação de uma comunidade algal aderida às estruturas submersas das Caravelas Ecológicas, demonstrando que a malha funcionou como substrato para colonização biológica. A presença de diferentes gêneros ao longo das campanhas sugere que a estrutura não atuou apenas como elemento físico passivo, mas como superfície favorável ao estabelecimento de biofilmes algais (INFINITO MARE, 2026; ALVES et al., 2020; MORENO OSORIO et al., 2021).

A colonização por algas aderidas é um dos primeiros indicadores da funcionalidade biológica da tecnologia. Em sistemas de biofilme, a adesão inicial dos organismos ao substrato é seguida por etapas de crescimento, maturação e estruturação da comunidade. Esse processo já foi descrito em sistemas de biofilmes microalgais, nos quais as fases de fixação, formação e maturação apresentam diferentes relações com a remoção de nutrientes e o desenvolvimento da biomassa (MORENO OSORIO et al., 2019; BLIFERNEZ-KLASSEN et al., 2023).

No presente estudo, a presença recorrente de gêneros perifíticos e bentônicos reforça o potencial da Caravela como superfície de colonização. Embora os dados utilizados nesta etapa sejam qualitativos, a ocorrência de gêneros em diferentes campanhas permite inferir persistência da comunidade aderida e desenvolvimento progressivo do biofilme (ALVES et al., 2020; FONSECA; RODRIGUES, 2005; GODOI, 2008).

4.2. Riqueza de gêneros por ponto e campanha

Foram registrados 26 gêneros algais nos biofilmes associados às Caravelas Ecológicas. O ponto P1 apresentou 26 gêneros, enquanto P2 apresentou 23 gêneros (Figura 3.C). A maior parte da comunidade foi compartilhada entre os pontos, com 23 gêneros ocorrendo simultaneamente em P1 e P2. Apenas três gêneros foram exclusivos de P1: *Chroococcus*, *Desmodesmus* e *Eunotia*.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

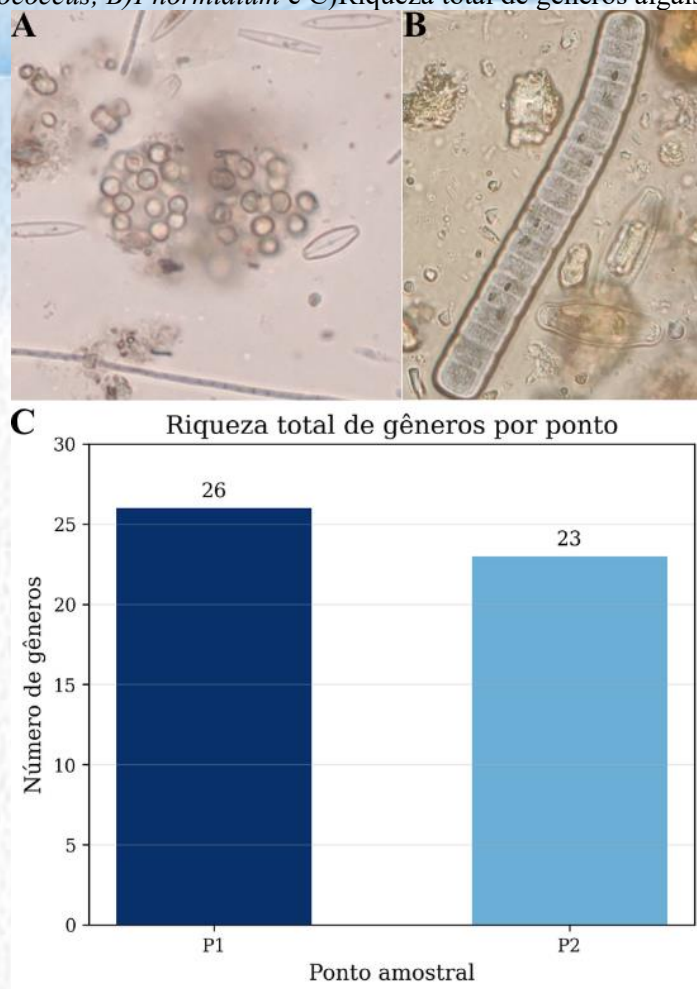


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 3 - A) *Chroococcus*, B) *Phormidium* e C) Riqueza total de gêneros algais por ponto amostral.



A riqueza de gêneros aumentou ao longo das campanhas em ambos os pontos (Figura 4). Em P1, foram registrados 12 gêneros na primeira campanha, 15 na segunda, 18 na terceira e 19 na quarta. Em P2, foram registrados 13, 14, 15 e 19 gêneros, respectivamente. Esse aumento indica uma tendência de diversificação da comunidade ao longo do tempo, compatível com o processo de sucessão ecológica em superfícies submersas.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

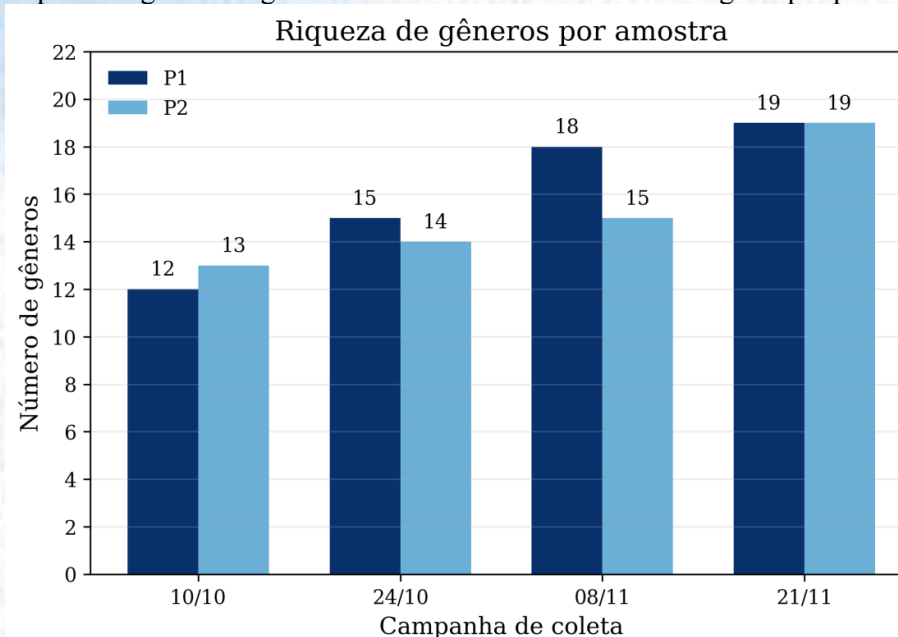


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 4 - Riqueza de gêneros algais nos biofilmes das Caravelas Ecológicas por ponto e campanha.



O aumento da riqueza é um resultado importante para demonstrar a eficiência inicial da Caravela enquanto substrato biológico. Em vez de indicar apenas presença pontual de organismos, os dados sugerem que a comunidade se tornou mais rica ao longo do período avaliado. Esse padrão é coerente com biofilmes em desenvolvimento, nos quais organismos pioneiros colonizam a superfície inicialmente e, posteriormente, outros grupos passam a ocupar micro-habitats formados pela própria estrutura biológica (MORENO OSORIO et al., 2021; ALVES et al., 2020; BLIFERNEZ-KLASSEN et al., 2023).

4.3. Gêneros compartilhados e exclusivos

A elevada sobreposição entre P1 e P2 indica que as Caravelas favoreceram a colonização por um conjunto comum de gêneros algais, mesmo estando instaladas em ambientes com características distintas. A presença de 23 gêneros compartilhados (Figura 5) sugere que a estrutura da Caravela oferece condições adequadas para a fixação de uma comunidade algal relativamente consistente (INFINITO MARE, 2026; MORENO OSORIO et al., 2021).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700

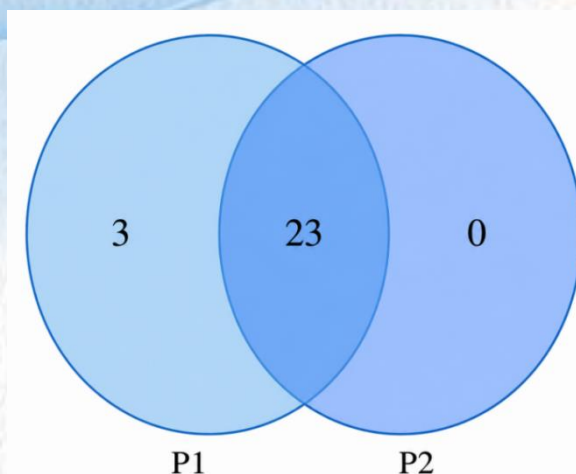


abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Figura 5 - Diagrama de Venn dos gêneros algais compartilhados e exclusivos entre os pontos P1 e P2.



Ao mesmo tempo, a ocorrência de três gêneros exclusivos em P1 pode refletir diferenças locais relacionadas à dinâmica hidrológica, carga de nutrientes, turbidez ou disponibilidade matéria orgânica. O Arroio Dilúvio apresenta maior influência urbana direta e pode oferecer condições distintas de colonização em comparação ao Parque Pontal. Assim, a análise de presença e ausência permite não apenas verificar a colonização da estrutura, mas também identificar diferenças ecológicas entre os pontos monitorados (GODOI, 2008; RODRIGUES; CENTENO; CECCONELLO, 2021; INFINITO MARE, 2026).

Os gêneros exclusivos de P1 foram *Chroococcus*, *Desmodesmus* e *Eunotia*. *Chroococcus* representa cianobactérias cocóides frequentemente registradas em ambientes continentais; *Desmodesmus* é uma clorofícea com ampla distribuição em águas continentais, incluindo ambientes enriquecidos; e *Eunotia* é uma diatomácea com relevância taxonômica e ecológica em estudos de microalgas. A presença desses gêneros apenas em P1 sugere que o ponto pode apresentar maior heterogeneidade ecológica ou condições ambientais que favoreceram maior diversidade taxonômica (BICUDO; MENEZES, 2006; ALENCAR et al., 2019; GODOI, 2008).

4.4. Gêneros recorrentes e táxons constantes

A análise de frequência indicou a ocorrência de gêneros constantes ao longo das campanhas (Tabela 1). Em P1, os gêneros *Cymbella*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Phormidium*, *Pinnularia*, *Planktolynghya* e *Pseudanabaena* estiveram presentes em todas as amostras. Em P2, os gêneros *Cocconeis*, *Cymbella*, *Melosira*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Phormidium*, *Pinnularia* e *Pseudanabaena* ocorreram em todas as campanhas.

Tabela 1 - Gêneros constantes registrados nas Caravelas Ecológicas.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Ponto	Gêneros presentes em todas as campanhas
P1	<i>Cymbella</i> , <i>Navicula</i> , <i>Nitzschia</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Pinnularia</i> , <i>Planktolyngbya</i> , <i>Pseudanabaena</i>
P2	<i>Cocconeis</i> , <i>Cymbella</i> , <i>Melosira</i> , <i>Navicula</i> , <i>Nitzschia</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Pinnularia</i> , <i>Pseudanabaena</i>

Entre os gêneros constantes em ambos os pontos destacam-se *Cymbella*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Phormidium*, *Pinnularia* e *Pseudanabaena*. A recorrência desses táxons sugere que a Caravela sustentou uma comunidade aderida persistente, composta por diatomáceas e cianobactérias capazes de colonizar superfícies submersas em ambientes urbanos (GODOI, 2008; ALVES et al., 2020; BLIFERNEZ-KLASSEN et al., 2023).

A presença constante de diatomáceas como *Navicula*, *Nitzschia*, *Cymbella*, *Pinnularia*, *Cocconeis* e *Melosira* é particularmente relevante. Muitas diatomáceas possuem mecanismos de adesão ao substrato, incluindo produção de mucilagem, o que favorece sua fixação em superfícies artificiais e naturais. Essa característica permite que elas participem das fases iniciais de formação do biofilme e funcionem como importantes organizadoras da matriz perifítica (GODOI, 2008; VAN DAM; MERTENS; SINKELDAM, 1994; FONSECA; RODRIGUES, 2005).

A ocorrência recorrente de cianobactérias filamentosas, como *Pseudanabaena*, *Phormidium* e *Planktolyngbya*, também possui importância ecológica. Esses organismos podem responder rapidamente a condições de enriquecimento nutricional e participar da estruturação do biofilme, especialmente em ambientes com disponibilidade de nutrientes. No entanto, sua presença deve ser interpretada com cautela, pois dados qualitativos não permitem afirmar dominância ou risco de floração, mas indicam que esses grupos fazem parte da comunidade estabelecida (SANT'ANNA et al., 2006; FERREIRA et al., 2022; DANDAZI; HOKO; NHIWATIWA, 2020).

4.5. Predomínio de diatomáceas na composição taxonômica

A composição por gêneros indicou forte participação de *Bacillariophyta* nas amostras analisadas. Mesmo sem considerar o número de células, a riqueza taxonômica foi majoritariamente representada por diatomáceas. Esse resultado é coerente com o comportamento ecológico desse grupo, frequentemente associado à colonização de substratos submersos, formação de biofilmes e resposta às variações ambientais (GODOI, 2008; FONSECA; RODRIGUES, 2005; VAN DAM; MERTENS; SINKELDAM, 1994).

As diatomáceas são frequentemente utilizadas em estudos de qualidade da água porque respondem a fatores como nutrientes, oxigênio dissolvido, pH, condutividade, luminosidade, velocidade da corrente e disponibilidade de substrato. Diferentemente de análises físico-químicas pontuais, a composição da comunidade algal pode integrar efeitos ambientais ao longo do tempo, funcionando como indicador biológico das condições do sistema (GODOI, 2008; FEITOSA; MOURA; SOUZA, 2015; FERREIRA et al., 2022).

No presente estudo, a ocorrência recorrente de *Nitzschia* e *Navicula* merece destaque. Esses gêneros são frequentemente citados em estudos de biomonitoramento por apresentarem espécies tolerantes a ambientes enriquecidos por nutrientes e com maior carga orgânica. A presença desses

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

gêneros nas Caravelas sugere que o biofilme respondeu às condições ambientais dos corpos hídricos avaliados, reforçando o potencial da estrutura como ferramenta de biomonitoramento (GODOI, 2008; LOBO et al., 2010; VAN DAM; MERTENS; SINKELDAM, 1994).

4.6. Importância da taxonomia para o biomonitoramento da qualidade da água

A identificação taxonômica é uma etapa essencial para transformar a observação do biofilme em informação ambiental. Embora variáveis físico-químicas indiquem condições da água no momento da coleta, os organismos aderidos refletem processos de colonização, permanência e exposição às condições ambientais. Dessa forma, a composição de gêneros pode indicar tendências ecológicas que não seriam detectadas apenas por medidas pontuais de nutrientes, pH, turbidez ou oxigênio dissolvido (GODOI, 2008; FERREIRA et al., 2022; FEITOSA; MOURA; SOUZA, 2015).

A taxonomia também permite diferenciar grupos com distintos significados ecológicos. Diatomáceas aderidas podem indicar estabilidade de substrato e disponibilidade de superfícies colonizáveis; cianobactérias podem sinalizar ambientes enriquecidos ou episódios de maior disponibilidade de nutrientes; clorófitas podem indicar diversificação da comunidade e progressão sucessional do biofilme. Assim, a identificação dos gêneros presentes contribui para interpretar o estágio de desenvolvimento da comunidade e sua relação com as condições limnológicas locais (BICUDO; MENEZES, 2006; ALENCAR et al., 2019; GODOI, 2008).

No caso das Caravelas Ecológicas, a taxonomia assume papel ainda mais relevante porque permite avaliar se a estrutura favorece a colonização por organismos com potencial funcional. A presença de gêneros recorrentes em diferentes campanhas indica que a tecnologia é capaz de sustentar uma comunidade biológica aderida, o que é fundamental para sua proposta como ecotecnologia baseada em processos naturais (INFINITO MARE, 2026; MORENO OSORIO et al., 2021; ALVES et al., 2020).

4.7. Potencial bioacumulador e estudos futuros

A identificação dos gêneros presentes também é importante para estudos futuros de bioacumulação. Algas e biofilmes perifíticos podem interagir com contaminantes dissolvidos ou particulados, incluindo nutrientes, metais e compostos orgânicos. Essa interação pode ocorrer por assimilação, adsorção à matriz extracelular, retenção na biomassa ou associação com partículas presentes no biofilme (DUARTE et al., 2001; BLIFERNEZ-KLASSEN et al., 2023; INFINITO MARE, 2026).

Entretanto, é importante destacar que os dados de presença e ausência não permitem afirmar que houve bioacumulação de contaminantes ou remoção efetiva de poluentes. Para isso, são necessárias análises químicas da biomassa algal e da água, com comparação entre concentrações ambientais e concentrações acumuladas nos organismos. Assim, nesta etapa, a identificação taxonômica deve ser interpretada como base para selecionar grupos de interesse e orientar análises futuras (INFINITO MARE, 2026; DUARTE et al., 2001; RAJFUR; KLOS, 2015).

A presença de gêneros recorrentes e bem estabelecidos sugere que a Caravela pode fornecer biomassa aderida suficiente para avaliações posteriores de metais, nutrientes e compostos orgânicos. Dessa forma, os dados taxonômicos funcionam como uma etapa inicial de triagem ecológica, permitindo

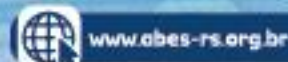
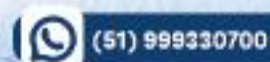
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



reconhecer quais organismos estão presentes, quais são persistentes e quais podem ser priorizados em investigações sobre bioacumulação (GODOI, 2008; INFINITO MARE, 2026; BLIFERNEZ-KLASSEN et al., 2023).

4.8. Caravela Ecológica como tecnologia baseada na natureza

Os resultados obtidos reforçam a interpretação da Caravela Ecológica como uma tecnologia baseada na natureza. A estrutura favoreceu a colonização por uma comunidade algal diversa e recorrente, com aumento de riqueza ao longo do tempo e elevada sobreposição de gêneros entre os pontos. Esses aspectos indicam que a tecnologia é capaz de criar um micro-habitat artificial submerso, funcionalmente semelhante a substratos naturais colonizados por perifíton (INFINITO MARE, 2026; ALVES et al., 2020; MORENO OSORIO et al., 2021).

A eficiência inicial da Caravela, neste recorte, não deve ser apresentada como remoção comprovada de poluentes, mas como funcionalidade biológica demonstrada pela formação de biofilme, aumento da riqueza taxonômica e persistência de gêneros ao longo das campanhas. Essa abordagem é cientificamente mais segura e adequada ao estágio atual dos dados (MORENO OSORIO et al., 2019; ALVES et al., 2020; INFINITO MARE, 2026).

Assim, a Caravela pode ser compreendida como uma infraestrutura ecológica flutuante com potencial para integrar três funções complementares: suporte à colonização biológica, biomonitoramento da qualidade da água e produção de biomassa para análises ambientais futuras. A presença de gêneros bioindicadores e de grupos com potencial interação com contaminantes reforça a relevância da tecnologia para ambientes urbanos impactados (INFINITO MARE, 2026; GODOI, 2008; BLIFERNEZ-KLASSEN et al., 2023).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de presença e ausência dos gêneros algais associados às Caravelas Ecológicas demonstrou que as estruturas funcionaram como substratos para colonização biológica e formação de biofilme. Foram registrados 26 gêneros, com maior riqueza em P1 e elevada similaridade entre os pontos, evidenciada pelos 23 gêneros compartilhados. A riqueza aumentou ao longo das campanhas em ambos os pontos, indicando desenvolvimento progressivo da comunidade aderida.

A recorrência de gêneros como *Nitzschia*, *Navicula*, *Cymbella*, *Pinnularia*, *Pseudanabaena* e *Phormidium* evidencia a formação de uma comunidade persistente, composta principalmente por diatomáceas e cianobactérias. Esses grupos possuem relevância ecológica e taxonômica para o biomonitoramento de corpos hídricos, especialmente em ambientes sujeitos a enriquecimento nutricional e impactos urbanos (GODOI, 2008; LOBO et al., 2010; FERREIRA et al., 2022).

Os resultados indicam que a Caravela Ecológica apresenta potencial como Solução Baseada na Natureza para suporte à formação de biofilmes algais e monitoramento biológico da qualidade da água. A identificação taxonômica dos organismos presentes constitui etapa fundamental para interpretar as condições ambientais e orientar estudos futuros sobre bioacumulação de nutrientes,

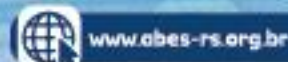
Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



metais e compostos orgânicos na biomassa aderida (INFINITO MARE, 2026; DUARTE et al., 2001; BLIFERNEZ-KLASSEN et al., 2023).

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e à empresa Infinito Mare pela parceria estabelecida para a realização deste trabalho, bem como pelo apoio técnico e institucional ao desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, S. A. et al. **Microalgas planctônicas (clorofíceas) como bioindicadoras da qualidade da água em reservatório do semiárido cearense**. Cadernos de Cultura e Ciência, v. 18, n. 1, p. 41-51, 2019.
- ALVES, G. et al. **Avaliação de formação de biofilme perifítico e identificação de microalgas em um sistema piloto Algal Turf Scrubber**. Revista Jovens Pesquisadores, v. 10, n. 1, p. 1-12, 2020.
- BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições**. São Carlos: Rima, 2006.
- BLIFERNEZ-KLASSEN, O. et al. **Microbial diversity and community structure of wastewater-driven microalgal biofilms**. Microorganisms, v. 11, n. 12, 2994, 2023.
- CETESB. **Fitoplâncton de água doce: métodos qualitativo e quantitativo: norma técnica L5.303**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2005.
- DANDAZI, P.; HOKO, Z.; NHIWATIWA, T. **Investigating the occurrence of algae in the drinking water supply system of Harare, Zimbabwe**. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development, v. 10, n. 2, p. 179-190, 2020.
- DUARTE, M. M. M. B. et al. **Macroalgae as lead trapping agents in industrial effluents: a factorial design analysis**. Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 12, n. 4, p. 499-506, 2001.
- FEITOSA, I. B.; MOURA, A. N.; SOUZA, A. C. R. **Microalgas de dois ambientes lóticos amazônicos, Rondônia, Brasil**. Ambiência, v. 11, n. 1, p. 49-64, 2015.
- FERREIRA, L. D. S. et al. **Concentração de clorofila e parâmetros físico-químicos para avaliação de níveis de eutrofização do Rio Cereja, Bragança, Pará**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. 5, p. 2153-2163, 2022.
- FONSECA, I. A.; RODRIGUES, L. **Comunidade de algas perifíticas em distintos ambientes da planície de inundação do alto rio Paraná**. Acta Scientiarum. Biological Sciences, v. 27, n. 1, p. 21-28, 2005.
- GODOI, E. L. **Monitoramento de água superficial densamente poluída: o Córrego Pirajuçara, Região Metropolitana de São Paulo, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- INFINITO MARE. **Relatório Técnico-Científico: Projeto Caravela de Porto Alegre**. São Paulo: Infinito Mare, 2026.
- LOBO, E. A. et al. **Response of epilithic diatom communities to environmental gradients in subtropical temperate Brazilian rivers**. Limnetica, v. 29, n. 2, p. 323-338, 2010.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

- MATEUCCI, S. D.; COLMA, A. **Metodología para el estudio de la vegetación**. Washington: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, 1982.
- MOHSENPOUR, S. F.; HENNIGE, S.; WILLOUGHBY, N.; ADELOYE, A.; GUTIERREZ, T. **Integrating micro-algae into wastewater treatment: a review**. Science of the Total Environment, v. 752, 142168, 2021.
- MORENO OSORIO, J. H. et al. **Start-up of a nutrient removal system using Scenedesmus vacuolatus and Chlorella vulgaris biofilms**. Bioresources and Bioprocessing, v. 6, 27, 2019.
- MORENO OSORIO, J. H.; POLLIO, A.; FRUNZO, L.; LENS, P. N. L.; ESPOSITO, G. **A review of microalgal biofilm technologies: definition, applications, settings and analysis**. Frontiers in Chemical Engineering, v. 3, 737710, 2021.
- RAJFUR, M.; KLOS, A. **Use of algae in active biomonitoring of surface waters**. Ecological Chemistry and Engineering S, v. 22, n. 4, p. 561-576, 2015.
- REID, A. J. et al. **Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity**. Biological Reviews, v. 94, p. 849-873, 2019.
- RODRIGUES, T. N.; CENTENO, L. N.; CECCONELLO, S. T. **Clusterização em dados de qualidade da água de uma lagoa localizada no Sul do Rio Grande do Sul**. Revista Thema, v. 19, n. 1, p. 1-10, 2021.
- SANT'ANNA, C. L. et al. **Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência; São Paulo: Sociedade Brasileira de Ficologia, 2006.
- SILVA, V. E. C. et al. **Space time evolution of the trophic state of a subtropical lagoon: Lagoa da Conceição, Florianópolis Island of Santa Catarina, Brazil**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 22, e10, 2017.
- SOUZA, L. H. N.; ARRUDA, R. O. M. **Revitalização de corpos d'água com o uso da biorremediação**. Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada, v. 4, n. 1, p. 37-45, 2020.
- TREMMEL, D. **Exploring the potential of algae to monitor and mitigate fossil fuel pollution: a geochemical multi-tool approach**. 2023. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2023.
- TREMMEL, D.; CARVALHO, C.; SILVA, T. C. A.; NASCIMENTO, N.; BERNARDES, M. C.; LIBARDONI, B. **Identifying fossil contamination from surface waters in native algae grown over floating artificial substrates**. Radiocarbon, p. 1-16, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1017/RDC.2026.10224>.
- UTERMÖHL, H. **Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik**. Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, v. 9, p. 1-38, 1958.
- VAN DAM, H.; MERTENS, A.; SINKELDAM, J. **A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands**. Netherlands Journal of Aquatic Ecology, v. 28, p. 117-133, 1994.

Realização



Correalizadores



Apoio Institucional



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br